

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Interakce nosné ocelové konstrukce horkovodu s potrubím

Interaction of Hot Water Pipeline Steel Structure with the Pipeline

Student:

Bc. Robin Fojtík

Vedoucí diplomové práce:

Dr. Ing. Tomáš Novotný

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Robin Fojtík**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb

Téma: Interakce nosné ocelové konstrukce horkovodu s potrubím
Interaction of Hot Water Pipeline Steel Structure with the Pipeline

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce vypracujte teoretickou analýzu vzájemné interakce potrubí a nosné ocelové konstrukce, zejména vztah vysokých štíhlých sloupů a osových sil v potrubí od teplotních dilatací. Analýzu aplikujte na reálné zadání jednoduché trasy horkovodu, kterou navrhnete běžným způsobem bez uvažování výše zmiňované interakce a tento návrh srovnáte s návrhem využívajícím interakci. Diplomová práce bude obsahovat:

- přehled specifik a požadavků na konstrukce horkovodů,
- teoretickou analýzu vzájemné interakce potrubí a nosné ocelové konstrukce,
- návrh nosné ocelové konstrukce horkovodu provedený běžným způsobem,
- návrh téže konstrukce s využitím výše uvedené interakce,
- technické i ekonomické porovnání obou variant navržené konstrukce,
- diskusi k dosaženým výsledkům, která zevšeobecní, zda a ve kterých případech je přínosné interakci využívat.

Seznam doporučené odborné literatury:

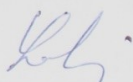
- ČSN EN 1990 Eurokód: zásady navrhování konstrukcí. ČNI.
- ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. ČNI.
- ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem. ČNI.
- ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem. ČNI.
- ČSN EN 1991-1-5 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-5: Obecná zatížení - Zatížení teplotou, ČNI.
- ČSN EN 1993-4-3 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 4-3: Potrubí, ČNI.
- Včetně změn, oprav a dodatků.
- Studnička J., Holický M.: Ocelové konstrukce 20 – Zatížení staveb. ČVUT Praha, 1998.
- Studnička J.: Ocelové konstrukce 10 – Normy pro navrhování. ČVUT Praha, 2003.
- Wald F.: Ocelové konstrukce 10 – Tabulky. ČVUT Praha, 1999.
- Wald F.: Prvky ocelových konstrukcí – Příklady podle Eurokódů. ČVUT Praha, 1998.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

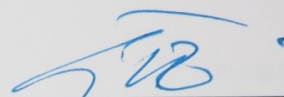
Vedoucí diplomové práce: **Dr.Ing. Tomáš Novotný**

Datum zadání: 29.02.2016

Datum odevzdání: 30.11.2016



doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 30.11.2016

.....
podpis studenta

Prohlašuji:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb.
– autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 30.11.2016

.....

podpis studenta

Poděkování

Děkuji rodině za podporu, kterou mi poskytovali během studia.

Děkuji vedoucímu panu Dr. Ing. Tomáši Novotnému za odborné rady při vypracovávání diplomové práce. Také bych rád poděkoval všem vyučujícím z Katedry konstrukcí ve studiu v tomto oboru a profesionální vedení výuky.

Anotace

Předmětem diplomové práce je vypracování teoretické analýzy vzájemné interakce potrubí a nosné ocelové konstrukce. Jedná se o vzájemné působení nosné konstrukce a osových vodorovných sil od teplotních dilatací potrubí. Navržený postup teoretické analýzy je aplikován na praktický příklad horkovodní trasy jednoho dilatačního celku a následně porovnán se zjednodušenou metodou navrhování. Účelem je identifikovat efektivnost jednotlivých metod spočívajících v technických a ekonomických rozdílech při návrhu potrubního systému.

Klíčová slova

Potrubí, horkovod, vzájemná interakce, teplotní dilatace.

Annotation

The subject of this thesis is to develop a theoretical analysis of the interaction between pipe and steel construction. It will examine the interaction of forces on the support structure and horizontal axis, from effects of the thermal expansion pipe. The proposed procedure's theoretical analysis is applied to a practical example of one hot-route expansion block, and then compared with the conventional method of designing. The purpose is to identify the effectiveness of each method; consisting in technical and economic differences in the design of the piping system.

Keywords

Pipe, hot water, interaction, thermal expansion.

Obsah diplomové práce

Seznam použitého značení	1
1 Úvod	6
2 Přehled specifik a požadavků na konstrukce horkovodů	7
2.1 Vlastnost a charakteristika potrubí	7
2.2 Prostředky teplonosných médií	8
2.2.1 Parovod.....	8
2.2.2 Horkovod.....	8
2.2.3 Teplovod.....	8
2.3 Vedení tepelných sítí	9
2.3.1 Vedení potrubí v zemi	9
2.3.2 Vedení horkovodu nad zemí	10
2.4 Druhy tepelných sítí.....	12
2.4.1 Jednotrubkový systém	12
2.4.2 Dvoutrubkový systém	12
2.4.3 Třítrubkový systém	13
2.5 Uložení potrubí	14
2.5.1 Volná podpěra	15
2.5.2 Posuvná podpěra	15
2.5.3 Pevná podpěra	16
2.6 Vzdálenosti podpěr	17
2.7 Materiály vedení	18
2.7.1 Ocelové potrubí	18
2.7.2 Měděné potrubí	19
2.7.3 Plastové potrubí.....	19
2.8 Přehled zatížení potrubí	20
2.8.1 Zatížení od hmotností potrubí	20

2.8.2	Zatížení teplotní dilatací	20
2.8.3	Zatížení klimatická	20
2.8.4	Zatížení od popuštění podpor	20
3	Teorie návrhu nosné konstrukce potrubí z hlediska tepelné dilatace	21
3.1	Předpoklad návrhu zjednodušenou metodou	23
3.2	Předpoklad návrhu pomocí alternativní metody teoretické analýzy vzájemné interakce potrubí a nosné ocelové konstrukce	24
3.2.1	Vyjádření vodorovné reakce	24
3.2.2	Vliv působením interakce	26
3.2.3	Zjednodušení vztahu pro výslednou vodorovnou reakci nosné konstrukce	27
3.2.4	Určení základních veličin pro působení interakce	30
3.2.5	Deformační podmínka	32
3.2.6	Smysl výpočtu pro celkový dilatační úsek	33
3.2.7	Postup návrhu interakce	36
4	Návrh nosné konstrukce	38
4.1	Zatížení	40
4.1.1	Zatížení od potrubí	40
4.1.2	Zatížení větrem	40
4.1.3	Zatížení sněhem	43
4.2	Návrh a posouzení nosné konstrukce horkovodu zjednodušenou metodou	44
4.2.1	Statické schéma a navrhnuté prvky	44
4.2.2	Zatěžovací stavy	45
4.2.3	Skupiny zatížení	47
4.2.4	Kombinace zatěžovacích stavů	47
4.2.5	Vykreslení průběhů vnitřních sil	48
4.2.6	Posouzení sloupu	49
4.2.7	Návrh a posouzení kotvení	53

4.2.8	Návrh a posouzení základové patky	55
4.3	Návrh nosné konstrukce horkovodu alternativní metodou vzájemné interakce s potrubím	57
4.3.1	Statické schéma a navrhnuté prvky	57
4.3.2	Podmínky návrhu	58
4.3.3	Zatěžovací stavy	59
4.3.4	Skupiny zatížení	61
4.3.5	Kombinace zatěžovacích stavů	61
4.3.6	Vykreslení průběhů vnitřních sil	62
4.3.7	Posouzení sloupu	63
4.3.8	Návrh a posouzení kotvení	67
4.3.1	Návrh a posouzení základové patky	69
4.4	Návrh 3D komplexního modelu potrubního systému s předpokladem interakce	71
4.4.1	Tuhost kompenzátoru	71
4.4.2	Statické schéma navrhnuté prvky	73
4.4.3	Zatěžovací stavy	74
4.4.4	Skupiny zatížení	75
4.4.5	Kombinace zatěžovacích stavů	76
4.4.6	Vykreslení průběhů vnitřních sil působících na nosné konstrukce	76
4.5	Porovnání hodnot na nosných konstrukcích	78
4.6	Posouzení potrubí	80
4.6.1	Vnitřní síly	80
4.6.2	Posouzení z hlediska napjatosti	81
4.6.3	Ztráta potrubní stěny nad podporou	83
5	Technické a ekonomické porovnání obou variant	84
6	Závěrečná diskuze	87
	Seznam literatury a používaných zdrojů	88

Seznam obrázků	89
Seznam tabulek	91
Seznam příloh.....	92

Seznam použitého značení

Malá latinská písmena

$x - x$	podélná osa prutu
$y - y$	osa průřezu
$z - z$	osa průřezu
b	šířka průřezu
c	šířka nebo výška průřezu
c_d	součinitel konstrukce
$c_{d_{ir}}$	součinitel směru větru
c_f	součinitel síly
c_{f0}	součinitel síly
c_r	součinitel drsnost terénu
c_s	součinitel konstrukce
c_{season}	součinitel ročního období
c_x	rozměry zatěžovací plochy patky
c_y	rozměry zatěžovací plochy patky
$c_{0(z)}$	součinitel ortografie
d_a	vnější průměr potrubí
d_i	vnitřní průměr potrubí
e_x	výstřednost patky
e_y	výstřednost patky
f	přípustný průhyb
$f_{ctk,0,05}$	charakteristická pevnost betonu v tahu
$f_{ct,d}$	návrhová pevnost betonu v tahu
h_w	tloušťka stojiny

g	gravitační zrychlení
h	výška průřezu
i	poloměr setrvačnosti
k	ekvivalentní drsnost materiálu
k, k_1	koeficient stability potrubí
k_w	součinitel vzpěrné délky
k_z	součinitel vzpěrné délky
k_1	součinitel turbulence
k_{yy}	součinitel interakce
k_{yz}	součinitel interakce
k_{zy}	součinitel interakce
k_{zz}	součinitel interakce
m_p	hmotnost potrubí pro podporu
p	liniové zatížení
q	liniové zatížení
s	tloušťka stěny potrubí
s	zatížení sněhem na objektu
s_k	charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi
t	tloušťka pásnice
v_b	základní rychlost větru
$v_{b,0}$	výchozí rychlost větru
z	výška nad úrovní terénu
z_{min}	minimální výška
z_0	parametr drsnosti terénu
$z_{0,II}$	parametr drsnosti terénu dle kategorie

Velká latinská písmena

A	plocha průřezu
A_{eff}	efektivní plocha
A_i	průtočná plocha potrubí
A_p	plochá průřezu potrubí
A_{ref}	referenční plocha
A_s	průřezová plocha nosné konstrukce
A_y	smyková plocha
A_z	smyková plocha
C_e	součinitel expozice
C_t	tepelný součinitel
C_1	součinitel tvaru ohybového momentu
D_s	vnější průměr plášťové trubky
E	modul pružnosti materiálů
F_{cr}	kritická síla
F_t	třecí síla
H	výška nosné konstrukce
I_p	moment setrvačnosti potrubí
I_t	polární moment setrvačnosti
I_y	moment setrvačnosti
I_w	výsečový moment
I_z	moment setrvačnosti
K	tuhost konstrukce
L	dilatační délka
L_{cr}	kritická délka
L_s	vzdálenost podpor

M_{cr}	kritický ohybový moment
$M_{y,Ed}$	návrhový ohybový moment
$M_{y,Rk}$	moment únosnosti
$M_{z,Ed}$	návrhový ohybový moment
$M_{z,Rk}$	moment únosnosti
$N_{y,Ed}$	návrhová normálová síla
$N_{y,Rk}$	normálová síla únosnosti
R	vodorovná reakce
R_e	mez kluzu
R_m	mez pevnosti
$R_{p0,2}$	mez kluzu při teplotě
T	teplota
$V_{y,Ed}$	návrhová posouvající síla
$V_{z,Ed}$	návrhová posouvající síla
$V_{y,Pl,Rd}$	plastická únosnost
$V_{z,Pl,Rd}$	plastická únosnost
$W_{y,Pl}$	plastický modul pružnosti
$W_{z,Pl}$	plastický modul pružnosti

Malá řecká písmena

α_t	součinitel tepelné roztažnosti
β	součinitel vzpěrné délky
γ_{M0}	materiálový součinitel
γ_{M1}	materiálový součinitel
γ_{M2}	materiálový součinitel
γ_c	materiálový součinitel
γ_G	součinitel zatížení

γ_Q	součinitel zatížení
δ	hodnota přetvoření
δ_{max}	mezní hodnota přetvoření
λ	štíhlost
λ^-	poměrná štíhlost
λ_1	štíhlost na mezi kluzu
μ	součinitel tření
μ_{cr}	bezrozměrný kritický moment
μ_3	tvarový součinitel
ρ	hustota vzduchu
ρ_w	objemová hmotnost vody
σ_x	normálové napětí
σ_z	normálové napětí
σ_a	osové napětí
σ_t	tečné napětí
σ_r	radiální napětí
τ	smykové napětí
ψ_λ	součinitel koncového efektu

Velká řecká písmena

ΔT	změna teploty
χ_{LT}	součinitel klopení
χ_y	součinitel vzpěru
χ_z	součinitel vzpěru

1 Úvod

Diplomová práce seznamuje čtenáře se specifiky návrhu potrubních systémů – zejména nadzemních horkovodů (druhy systémů, používané materiály, působení typických zatížení). Tato práce pojednává o způsobu návrhu nosných konstrukcí potrubních systémů. Jedním z kritických faktorů je působení dilatačních nebo také expanzních jevů potrubí, způsobených změnami teplot doprovázejících přenos tepla teplonosným médiem. Nosná konstrukce horkovodu stejně jako mnoho jiných typů konstrukcí musí čelit tomuto faktoru; většinou se projektant snaží zvolit takové řešení, které se dilataci poddává a dilatačními silám nevzdoruje. U horkovodních systémů vzniká největší dilatace ve směru podélné osy potrubí.

Horkovody se většinou navrhují zjednodušenou metodou, která zcela zanedbává interakci mezi nosnou ocelovou konstrukcí a vlastním potrubím, tato metoda je sice bezpečná, ale není hospodárná, protože vede ke značnému přeceňování dilatačních sil. Jejich realistické hodnoty lze zjistit pomocí komplexního výpočtu, který plně zahrne výše uvedenou interakci, tento výpočet je však běžně považován za příliš složitý a časově náročný. Stávající diplomová práce se snaží navrhnout alternativní metodu přibližného stanovení dilatačních sil, která je jednoduchá, nicméně svými výsledky se blíží reálnému chování konstrukce.

V praktické části při návrhu nosné konstrukce jednotlivými metodami, jsou získány údaje, na základě kterých je možno porovnat, jestli alternativní metoda inklinuje ke zjednodušené nebo komplexní metodě řešení. Pokud by se přibližovala komplexnímu řešení lze očekávat, že způsobilost návrhu se projeví v ekonomické a technické stránce projektu.

2 Přehled specifik a požadavků na konstrukce horkovodů

2.1 Vlastnost a charakteristika potrubí

Potrubí je zvláštní technické zařízení resp. specializovaný dopravní prostředek, který je složen z těsně spojených rour či trub. Obvykle určeno k dopravě kapalin, plynů a různých sypkých materiálů (případně jejich vzájemné směsi). Potrubím je však možné přepravovat i drobné předměty, například poštu - potrubní pošta, nebo seno či slámu v zemědělském fukaru apod. V každém případě potrubí musí být nepropustné, obvykle mívá technické prostředky, jež umožňují regulaci toku hmoty potrubím a podobně. Potrubí bývá uloženo tak, aby bylo chráněno před vnějším mechanickým poškozením. U kovových potrubí, také ochrana před prostředím a možnou korozí. Potrubí slouží i pro přenos tepelné energie, která je zde vždy vázána na nějaké teplotnosné médium, kterým nejčastěji bývá obyčejná voda nebo ve formě vodní páry. Takovéto potrubí bývá i chráněno před nežádoucí ztrátou přenášeného tepla do okolí.^[7]

Z hlediska přenosu média vznikají různorodé nároky na potřeby návrhu potrubních konstrukcí. Je zapotřebí zohlednit vlivy přepravy množství média na základě velikosti průměru potrubí. Dále by měly být zahrnuty interní záležitosti ohledně vyrovnávání tlaků, spádování, odvodňování a výpočty tepelných ztrát. Což jsou nepochybně faktory, které tvoří nezbytnou součást návrhu pro správně fungující soustavy, ale z hlediska vlivu na únosnost konstrukce se touto částí práce nezabývá. Pro návrh tohoto díla především u potrubních systému přepravující tepelnou energii, jedná-li se např. horkou vodu nebo páru, je nucena konstrukce reagovat na změny teplot, protože je následně ovlivňována po celou dobu životnosti tímto faktorem.

Existuje celá řada potrubních systému a řešení, s kterými se lze setkat ne jen u nás v blízkém okolí, ale po celém světě. Samozřejmě jednotlivý návrh obsahuje své specifikum pro správnou funkčnost, kde jsou doplněny o mnoho zpevňujících a podpůrných prvků (podpěry, sloupky, věže, ložiska atd.) viz další kapitoly. Konstrukce a jednotlivá příslušenství jsou budovány na základě podmínek a potřeb, které jsou ovlivněny z pravidla při začlenění do terénu a také do situace ve městech, průmyslových objektech a v jiných objektech.

2.2 Prostředky teponosných médií

Teplo z tepláren je dopravována ke spotřebitelům způsobem, který závisí na médiu, které je nositelem tepelné energie. Tím může být voda nebo pára. Média jsou vedena v různých teplotách, které se pohybují v minimální hodnotě 90°.

2.2.1 Parovod

Výhodou páry je její tlaková energie, která zajišťuje její proudění v potrubí a velmi malá hmotnost. Teplota páry v parovodech je maximálně 180-240°C a tlak dosahuje až 1,8MPa. Parovody jsou, stejně jako ostatní dopravníky tepla, tepelně izolované, aby se ztráty tepla snížily na minimum. Z parovodů se čerpá buďto přímo pára pro technologické účely, nebo se v předávacích stanicích upraví její parametry a slouží k vytápění či jako teplá užitková voda (po ochlazení).^[9]

2.2.2 Horkovod

Tlak vody dosahuje až 2,5MPa. Voda je ohřívána maximálně na 110-180°C a distribuována tepelně izolovanými horkovody přímo k odběratelům, nebo do předávacích stanic. U těchto typů se přepravuje voda menším průměrem potrubí, ale dochází k vyšším tepelným ztrátám. Voda, která již předala své teplo, se vrací zpět do teplárny, kde se opět ohřeje a celý cyklus se opakuje.^[9]

2.2.3 Teplovod

Voda v teplovodech dosahuje max. 110 °C a tlaku 1,6 MPa. V některých případech je teplota snížena na 95°C a tlak na 0,6 MPa. To umožňuje přímé napojení spotřebitelských zařízení bez nutnosti využívat předávací stanice.^[9]

2.3 Vedení tepelných sítí

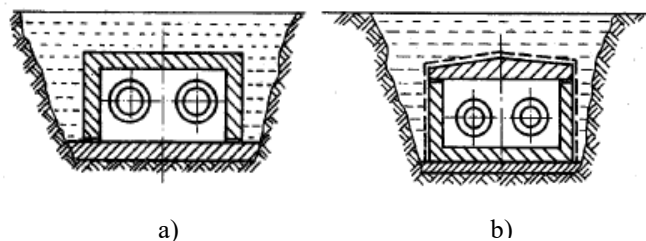
V podstatě je možno se setkat se dvěma druhy, při vedení potrubí. Zjednodušeně řečeno, jestli je horkovod či parovod veden pod povrchem nebo nad zemí.

2.3.1 Vedení potrubí v zemi

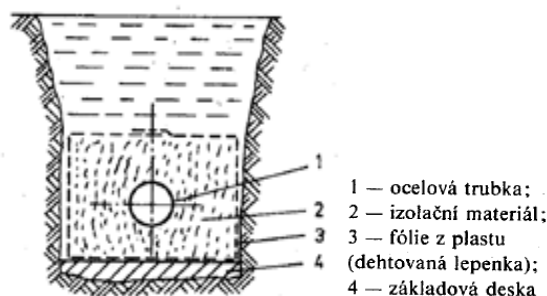
Velmi časté a v mnoha případech nezbytné, převážně v městských částech, řešení horkovodu. Toto řešení je ekonomicky náročnější zhruba okolo 50%. Podzemní vedení lze dále dělit na vedení kanálové - neprůlezné, průlezné, průchozí; nebo přímo do země – bezkanálové, které se v dnešní době upřednostňuje.^[11]

Ve všech případech použití ocelových trubek, musí být zajištěno, aby se k trubce nedostala vlhkost, která by způsobila korozi potrubí a následně jeho netěsnost.

Potrubí vedené přímo v zemi je zatěžováno tepelnou roztažností, tlakem zeminy, který ji nutí, aby se deformovala podélně a přenášela ohybová napětí ve stěně potrubí (tlak zeminy ho nutí vytvořit na průřezu z kružnice elipsu), čímž se ve skořepině porušuje membránový stav napětí. Minimálně v místech kompenzace nenutno pro kompenzování tepelné dilatace zanechat pro ni chráněné místo tak, aby bylo bez zásypu.^[8] U tohoto typu vedení se pravděpodobně setkáváme s vyššími podpěrami jen zřídka, a to jen u typů kanálově uložených.



Obr. 2.1: Potrubí uložené kanálově: a) příklopový kanál b) žlabový kanál^[11]



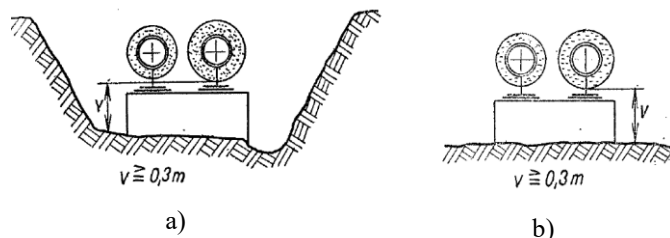
Obr. 2.2: Bezkanálová konstrukce s potrubím zalitým nebo zasypaným^[11]

2.3.2 Vedení horkovodu nad zemí

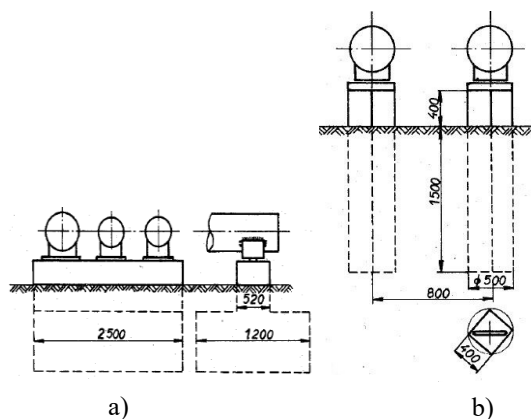
Takto navržené vedení se využívá v místech, kde je podzemní vedení nemožné (přechody přes koryta řek, nerovnosti terénu, silnice, železnice, extravilány, průmysl a jiné) a tam, kde příliš nezasahuje do celkového vzhledu krajiny. Zřízení vedení nad zemí je značně levnější, ale náročnější na údržbu, neboť je vystavováno vlivům počasí a často i vandalismu.

Vedení nad zemí rozdělujeme na tzv. pozemní, uloženy do výšky cca. $\geq 0,3$ m od spodního okraje potrubí, podpírané nízkými betonovými, železobetonovými nebo cihelnými sloupky či sokly. Dalšími druhem vedení jsou tzv. nadzemní. Tento typ je veden ve vyšších polohách počínající ve 2,5 m až do 6,5 m. Potrubí je uloženo na vysokých sloupech podpůrných nosných konstrukcí, buď ocelových, nebo výjimečně železobetonových.

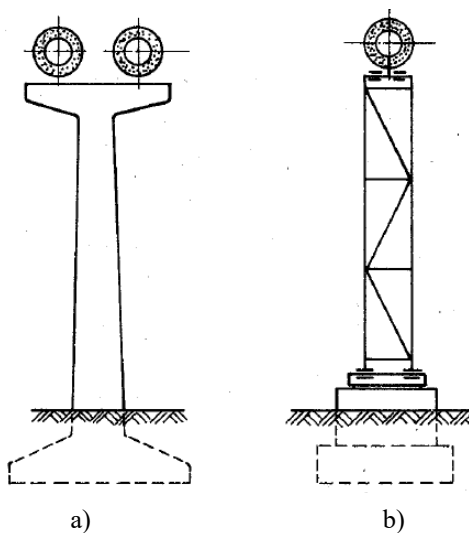
Všechny možnosti vedení musí přenést pomocí kyvného nebo kluzného uložení vzniklou změnu délky trubky z důvodu tepelné roztažnosti. Podle spojení teplotnosné trubky s izolací rozlišujeme sdruženou nebo kluznou konstrukci. Sdruženou konstrukcí se rozumí, že teplotnosná trubka, izolace a ochranná trubka jsou silově spojeny a při roztažnosti se celá konstrukce v podélné ose potrubí roztáhne. U kluzné konstrukce není teplotnosné potrubí silově spojeno s izolací a ochranou trubkou, proto se při tepelné roztažnosti protáhne jen teplotnosná trubka.



Obr. 2.3: Pozemní tepelné sítě: a) vedené v zářezu b) vedené nad zemí^[2]



Obr. 2.4: Pozemní tepelné sítě uložení nad úrovní terénu: a) na monolitické patce b) na monolitickém sloupku^[1]



Obr. 2.5: Nadzemní vedení tepelných sítí na vysokých sloupech: a) plnostěnný sloup, b) příhradový sloup^[1]



Obr. 2.6: Uložení potrubí na plnostěnných sloupech, horkovod Ostrava – Elektrárna Třebovice



Obr. 2.7: Uložení potrubí na příhradových sloupech, parovod Ostrava - Elektrárna Třebovice

2.4 Druhy tepelných sítí

S kombinacemi v počtu potrubí vedení se můžeme setkat se třemi typy. Jsou tvořeny:

- jednotrubkovými systémy
- dvoutrubkovými systémy
- třítrubkovými systémy

2.4.1 Jednotrubkový systém

Tento systém není příliš využíván, i když je méně nákladný na výstavbu, ale provoz je poměrně nákladný. Nevrácený nositel tepla je třeba nahradit upravenou vodou o teplotě nositele tepla, který by byl vrácen dvoutrubkovou sítí. To způsobuje, že se na vstupu musí upravovat velké množství vody a ta musí být ohřívána ze studeného stavu. Další problém nastává u odběratele, kde ohřátá voda musí být dostatečně ochlazená a je vypouštěna do kanalizace.^[2]

2.4.2 Dvoutrubkový systém

Dvoutrubkové tepelné systémy jsou obvyklým provedením sítí parních i vodních. Skládá se z dvou souběžných potrubí. Jedno potrubí se používá jako přívodní a druhé jako vratné, které tvoří okruh pro oběh nositele tepla mezi zdrojem a spotřebištěm. Obě potrubí mají stejný průměr (teplonosným médiem je voda), u vratného systému s menším průměrem (teplonosným médiem je pára) a potrubí jsou tepelně izolována. Tepelná izolace může způsobovat, že se na první pohled zdá vratné potrubí menší. Tloušťka tepelné izolace vratného potrubí je obvykle menší než tloušťka potrubí přívodního, protože pracovní teplota vratného potrubí je nižší než přívodního.^[2]



a)



b)

Obr. 2.8: Dvoutrubkový systém: a) parovod Ostrava - Elektrárna Třebovice b) horkovod Ostrava – Vítkovice Steel

2.4.3 Třítrubkový systém

Setkat se s tímto systémem je možno ve dvou úpravách, a to pro dodávku tepla, buď jednomu, nebo dvěma druhům spotřebičů.

První vyžaduje teplotní nebo tlakovou úroveň nositele tepla stálou nebo vyšší, například pro výrobní účely. V tomto případě jsou dvě potrubí přívodní a jedno společné vratné. Tento návrh je třeba zhodnotit z technologicko-ekonomického hlediska.

Druhý lze zásobovat nositelem tepla o stejném skupenství s úrovní nižší a proměnlivou, například otopné soustavy a ohřívání užitkové vody nebo jednomu druhu spotřebičů s velmi rozdílnou potřebou tepla, měnící se v dlouhých obdobích, například vytápění, větrání a ohřívání užitkové vody v topném období a pouze ohřívání užitkové vody v létě. [2]

Z hlediska statického působení bude potrubí působit větší tíhovou a také třecí silou na úložné prvky, pokud jsou všechny trubky podepřeny jedním prvkem, kde takové to řešení je spíše výjimečné. Pravděpodobně je častější výskyt podepření těchto typu konstrukcí samostatně, jednak se zmenšuje zatížení vlivu třecích sil při změnách délky potrubí a tím se zároveň zmenšují velikosti nosných konstrukcí. Dále je výhodnější variabilita přizpůsobit se jednotlivému potrubí.



Obr. 2.9: Třítrubkový systém, Elektrárna Opatovice^[12]

2.5 Uložení potrubí

Uložení potrubí rozumíme místo mezi potrubím a nosnou konstrukcí, která zajišťuje omezení pohybu potrubí v jednom nebo ve více směrech. V mnoha případech je třeba znát konkrétní typ uložení ještě před začátkem pevnostního a dilatačního výpočtu potrubní trasy, a to z důvodu správného zadání míst, kde vyhoví pevná uložení. Podpěry používáme tam, kde v blízkém okolí potrubí je vhodné místo na přenos reakcí od potrubí. Dále je výhodné používat podpěry v těch místech, kde je třeba zamezit příčný posuv potrubí v kombinaci s bočním vedením. Na každé potrubní trase se mohou nacházet různé druhy uložení potrubí. Potrubí může být uloženo na kluzných podpěrách, třmenech, objímkách apod. Posuvy potrubních tras mohou být omezeny různými druhy stranových vedení, zarážkami, pevnými body.^[8]

Podpěry se rozdělují podle zachycování reakcí, kde podpěra je zatížena potrubím a sama zatěžuje nosnou konstrukci. Proto je důležité předávání zatížení od potrubí na základě výpočtu.

Závislost typu podpěry a zachycení síly či momentu:

Orientace os: x - podélná osa potrubí

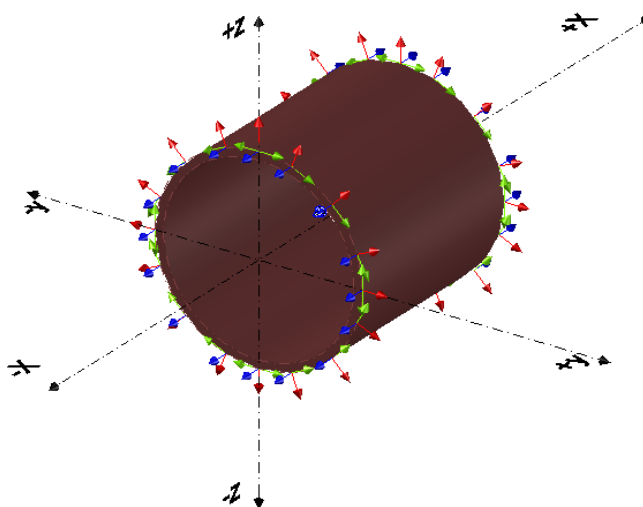
y – vodorovná, kolmá na osu potrubí

z – svislá

→ axiální směr, rovnoběžný s osou x (směr toku média)

→ radiální směr, kolmá na střednicovou plochu stěny potrubí

→ kolmo na radiální směr, tečné působení ke střednicové ploše stěny potrubí



Obr. 2.10: Směr orientace os

2.5.1 Volná podpěra

Podpora umožňuje posuv v podélném směru potrubí x a posuv ve vodorovném směru y , protože očekávané posuny v obou směrech jsou odlišné.



a)

b)

Obr. 2.11: Uložení volně: a) válečková podpěra b) bodová podpěra, - Ostrava – Vítkovice

2.5.2 Posuvná podpěra

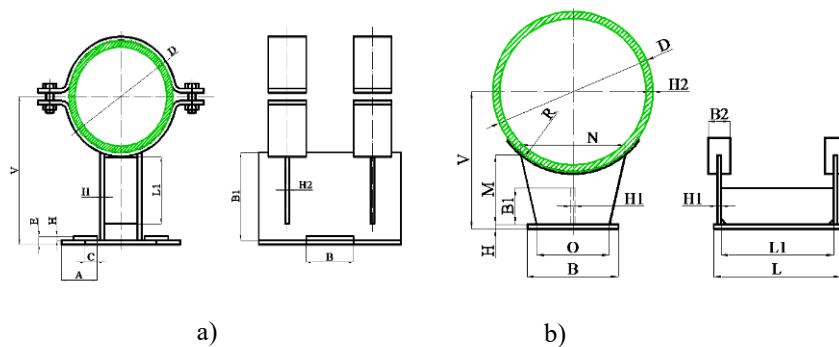
Podpěry jsou tvořeny směrovou zarážkou, zamezující posuv potrubí ve vodorovném směru, anebo při změně směru potrubí je možné umístit zarážku pro omezení také směru podélného. Většina používaných typů těchto podpěr jsou objímkové Obr.2.13.



a)

b)

Obr. 2.12: Posuvná podpěra se směrovou zarážkou umožňující pohyb v x - : a) válečková podpěra
b) třecí podpěra, - Ostrava – Vítkovice



Obr. 2.13: Posuvná podpora: a) s osovým vedením b) přivařovací

2.5.3 Pevná podpěra

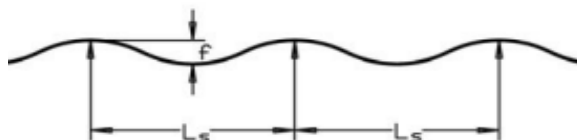
V potrubním vedení by se měla nacházet alespoň jedna pevná podpěra, která je také označována pod termínem pevný bod. Při použití více pevných bodů, je nutné je umístit v dostatečných vzdálenostech od sebe tak daleko, aby pružnost trubky mezi pevnými body pohltila tepelnou dilataci mezi uvedenými body. Pro kombinaci zarážek v případě kapitoly 2.5.2, které neumožňují pohyb potrubí ani v jedné ose, rotace avšak jsou povoleny podle všech třech os.^[8]



Obr. 2.14: Pevná podpora: Ostrava - Elektrárna Třebovice

2.6 Vzdálenosti podpěr

Vzdálenost podpěr a uložení se většinou týkají nadzemních vedení. Vzdálenost těchto bodů v potrubí je určena návrhem definovány např. podle výrobce^[8] vztahem 2.1 v uvedeném postupu.



Obr. 2.15. Schéma uložení potrubí^[8]

$$L_s = \sqrt[4]{\frac{f \cdot I_p}{F_g \cdot 2,48'}} \quad (2.1)$$

L_s	vzdálenost mezi podpěrami	[m]
f	přípustný průhyb	[mm]
I_p	moment setrvačnosti	[cm ⁴]
F_g	celková hmotnost potrubí včetně teplotnosné trubky, plášťové trubky, tepelné izolace a užitého média	[kg.cm ⁻¹]

Výrobce udává tento poněkud nezřetelný vztah, s hlediska dosazení jednotek. V běžné praxi se snažíme vše udávat v základních jednotkách, aby vše korespondovalo s fyzikálními veličinami. Po prozkoumání tohoto vztahu bylo autorem této práce zjištěno, že vznikl pravděpodobně ze vztahů pro průhyby na prostém nosníku a nosníku vetknutém na obou koncích. Aritmetický průměr těchto dvou hodnot dává přibližně totožnou hodnotu jako u vztahu (2.1).

Výpočet momentu setrvačnosti teplotnosné trubky:

$$I_p = \frac{\pi}{64} \cdot (d_a^4 + d_i^4) \quad (2.2)$$

d_a	vnější průměr teplotnosné trubky	[cm]
d_i	vnitřní průměr teplotnosné trubky	[cm]

2.7 Materiály vedení

Potrubní systémy se vyrábí z mnoha materiálů, kde je nutno brát v potaz, že každý materiál má svoje specifika, které se zohledňují dále při návrzích. V případě přenosu tepelné energie, musí být potrubí přizpůsobeno tak, aby nedocházelo ke ztrátě přenášeného tepla do okolí.

Nejčastěji vyskytované materiály jsou:

- ocelové
- měděné
- plastové

2.7.1 Ocelové potrubí

Patří k nejrozšířenějším druhům používaných u nás. Pro tyto účely lze použít černé trubky bez povrchové úpravy. Pro větší průměry jsou volené hladké bezešvé trubky. Ke spojení potrubí z tohoto materiálu dochází svařováním plamenem či elektrickým obloukem. Výhodami ocelových potrubních rozvodů jsou především dobré mechanické vlastnosti a nízká teplotní délková roztažnost. Nevýhodou oceli je nízká odolnost proti korozi.^[9]

Navrhované průměry teplotnosných trubek nad zemí jsou od DN 20 až DN 450. Do průměru DN 40 se používá potrubí bezešvé. Výhodu tohoto způsobu tvoří velká pevnost a vyšší odolnost proti korozi. Jelikož náklady na bezešvé potrubí jsou velmi vysoké, proto se pro větší průměry používá potrubí podélně svařované. Pro výrobu potrubí se využívá ocel, která se vyznačuje dobrou svařitelností a je určena pro tlakové nádoby a přepravu horkých kapalin.

Příklady druhů oceli používaných na potrubí:

Uhlíková ocel EN S355/P355NH (DIN St52) pro bezešvé potrubí, uhlíková ocel EN P235GH (DIN St37) pro svařované potrubí, nerezová ocel třídy EN P4301 (ČSN 17 240).^[10]

S ocelovým potrubím se v praxi setkáváme se dvěma druhy a to běžné ocelové, kde kolem ocelového potrubí se montuje tepelná izolace, aby se zabránilo tepelným ztrátám. Jako izolace je nejčastěji použita minerální vata. Druhý typ jsou předizolované potrubí, které je řešeno jako sdružený systém ocelové trubky, izolace a pláště. Všechny tři části jsou pevně spojeny do jednoho celku.

2.7.2 Měděné potrubí

Měděné trubky se vyrábí podle německé normy, která garantuje rozměr, tloušťku stěn, kvalitu použitého materiálu a pevnost v tahu. Potrubí z mědi rozlišujeme na měkké, poloměkké a tvrdé.

Měděné trubky mohou mít povrch holý, opláštěvaný PVC a předizolovaný. Spojit je lze šroubením, lisováním či kapilárním pájením.

Výhodou měděných trubek oproti ocelovým je, že odolávají korozi. Z dalších jejich výhod je velká pevnost, menší tlaková ztráta (to je dáno tím, že vnitřní strany měděných trubek jsou hladší než u ocelových trubek) a možnost použití malých tloušťek stěn potrubí.

Nevýhodou je větší teplotní délková roztažnost, a to až o cca 40% oproti oceli. Dnes se již měděné potrubí nepoužívá^[9]

Příklady druhů oceli používaných na potrubí:

Měď H040 (EN 12 449)^[10]

2.7.3 Plastové potrubí

Použití plastů u potrubí je omezené tlakem, teplotou, životností a bezpečností. Na potrubí nelze použít všechny druhy plastů. Výhodami plastového potrubí je menší hydraulická ztráta, lehkost potrubí a odolnost vůči korozi. Plastové potrubí se snadněji a rychleji montuje, a to svařováním natupo nebo mechanickými spojkami.

Nevýhodou je vysoká teplotní délková roztažnost, může dosahovat až 10 větších hodnot než u oceli. ^[9]

Příklady druhů plastů používaných na potrubí:

chlorované PVC 120°C, vrstvená potrubí s kovovou vložkou: s hliníkem, který chrání otopnou soustav proti difúzi kyslíku, PVDF (polyvinylidenfluorid): odolnost až do 140°C, polybuten, statický polypropylen. ^[9]

2.8 Přehled zatížení potrubí

2.8.1 Zatížení od hmotností potrubí

Hmotnost potrubí je udávána v kg/m a po znásobení s tíhovým zrychlením dostáváme tíhu materiálu. Vypočítává se z rozměrů potrubí a z hustoty materiálu potrubí. Předpokládáme, že zatížení působí trvale. Celkově se toto zatížení skládá z těchto částí: ^[8]

- hmotnost potrubí
- hmotnost teplonosného média
- hmotnost tepelné izolace
- hmotnost plášťové trubky

2.8.2 Zatížení teplotní dilatací

Toto zatížení také nazýváno zatížení teplotní expanzí, a to teplotní expanzí zabráněnou i nezabráněnou. Přisuzujeme dlouhodobému účinku (tepelná roztažnost potrubí v maximálních dovolených hodnotách) i krátkodobému účinku (tlak a tepelná roztažnost potrubí při náběhu a ukončení provozu) charakter nahodilého zatížení. ^[7]

2.8.3 Zatížení klimatická

V této skupině zatížení patří zatížení větrem a sněhem. A však můžou se kombinovat s dynamickými jevy, vznikajícími jak při užívání potrubí nebo nečekaných jevech. Lze je kombinovat s trvalým zatížením. U příležitostných zatížení bývá též v normách předepsán koeficient současnosti těchto zatížení. Z hlediska časového charakteru se jedná o zatížení nahodilé krátkodobé. ^[7]

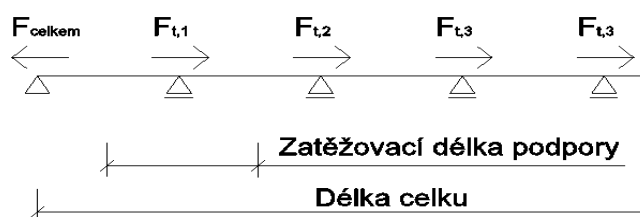
2.8.4 Zatížení od popuštění podpor

Pohyb podpěry není nic pozitivního pro chování vnitřních sil v konstrukci, může být způsobeno sedáním zeminy anebo zemětřesením. Toto je příležitostné zatížení způsobující sekundární napětí. ^[7]

3 Teorie návrhu nosné konstrukce potrubí z hlediska tepelné dilatace

Především je nutné si uvědomit, jak se potrubí chová vůči nosné konstrukci. Věčná problematika potrubních vedení je tepelná roztažnost, kde tato složka namáhání konstrukce tvoří nejpodstatnější faktor při návrhu. Projekt tepelné techniky musí být takový, aby dílo bylo realizovatelné a funkční. Projektant musí zde uvažovat správnou funkčnost podpor a jejich rozmístění, dále únosnost podpěrných konstrukcí a chování celkového systému při délkových změnách různých teplotních stavů.

Ukážeme si na schématu systému potrubí, kde lze znázornit působení osových sil na potrubí obr.3.1. Hodnota celkové osově síly působící na pevný bod je součet všech možných osových sil působících na délkovém celku potrubí. Jedná se o třecí síly a po případně síly působící od vnitřního tlaku působící uvnitř na stěnu trubky v místě měnícího se směru a jiné.



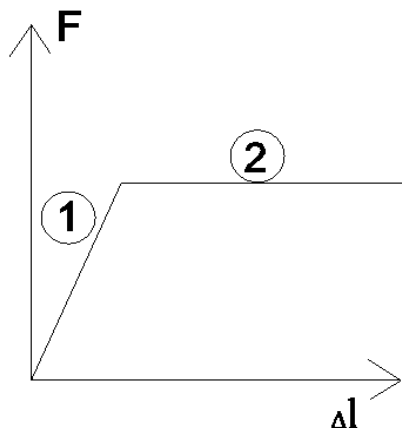
Obr. 3.1: Schématické rozložení osových sil

Působící síly na kluzných podporách vznikají vzrůstající délkou od změn teploty vystavujícího potrubí, a to až k hodnotám dosahujícím očekávaného prokluzu mezi potrubím a nosnou konstrukcí. Tento vliv je způsoben délkovou změnou v podélné ose potrubí vysvětlen na obr.3.2. Na základě tohoto prokluzu vznikne třecí síla, která má ve vodorovném směru působení největší vliv na nosnou konstrukci. Hodnotu třecí síly lze vyjádřit vztahy:

$$F_{celkem} = \sum_{i=1}^n F_{t,i} , \quad (3.1)$$

$$F_{t,i} = m_p \cdot \mu \cdot g . \quad (3.2)$$

F_{celkem}	výsledná síla působící v pevném bodě	[kN]
$F_{t,i}$	třecí síla v kluzné podpoře	[kN]
m_p	hmotnost úseku potrubí působícího na podporu	[kg]
μ	součinitel tření	[-]
g	gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]



Obr. 3.2: Znázornění působení vodorovné síly s vlivem prodloužení od potrubí

Síly vznikající tepelnou roztažností nemusí vždy dosahovat hodnot pro vznik prokluzu v podporách, jak také ukazuje obr.3.2. Tento fakt není nereálný, protože jeden z hlavních důvodů, který by takovému stavu napomohl je součinitel tření μ . Jeho hodnota nemůže být zanedbatelná. Tření dvou materiálů je různorodé, záleží na typu styčných materiálů, opotřebení, koroze a jiné. Běžně lze konstatovat, že součinitel nabývá hodnot mezi 10 až 60%, ale pokud by koroze zapůsobila s velkým časovým horizontem, teoreticky lze dosáhnout i 100%. Není možné říci, jestli vliv tření dokáže pohltnout působení roztahujícího se potrubí u každé konstrukce. U nízko položených systému je více pravděpodobné, že dochází k prokluzům. Jestli taková situace nastává, neplatí podmínka daná vztahem (3.3).

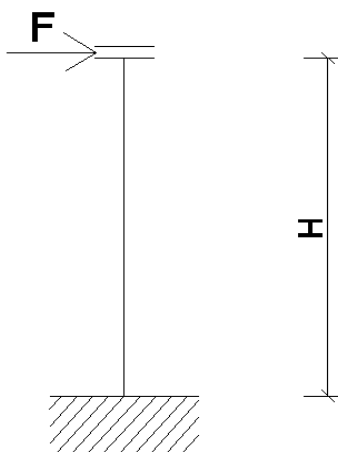
Podmínka, kdy vzniká prokluz v podpoře:

$$F_{t,i} < R. \quad (3.3)$$

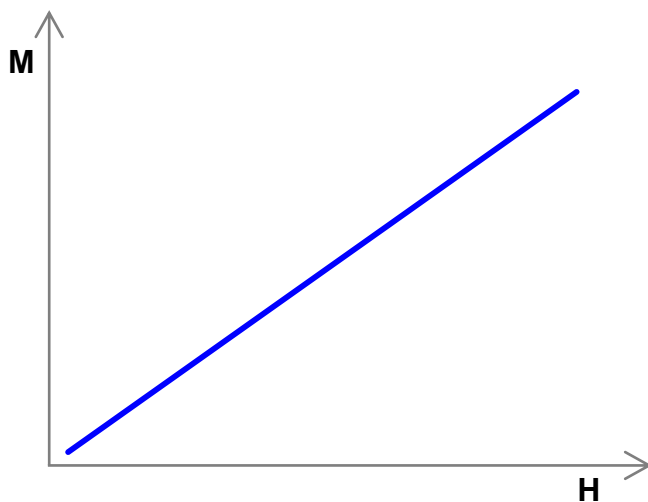
R	vodorovná reakce působící v patě nosné konstrukce, více rozvedeno v kapitole 3.2	[kN]
-----	--	------

3.1 Předpoklad návrhu zjednodušenou metodou

Podstatou zjednodušené metody je předpoklad dosažení prokluzu podpory podle vztahu (3.3). Tím na nosnou konstrukci působí třecí síla daná vztahem 3.2. Od tepelné roztažnosti lze očekávat nejvyšší hodnotu vodorovného působení znázorněnou na Obr. 3.2 část 2. Výhodou zjednodušené varianty, projektant získává zatížení pro bezpečný návrh nosné konstrukce z hlediska problému tepelné roztažnosti potrubí. Nevýhodou je, že můžou vznikat zvětšující se vnitřní síly (ohybové momenty) v patě nosné konstrukce, které jsou přímo úměrné z narůstající výškou. Tato hodnota má nadále vliv na dimenzování nosné konstrukce, ale především na velikost základové konstrukce, která může díky svým rozměrům a množství použitého materiálu na celou stavbu potrubí mít vliv z hlediska ekonomického. Velikost základové patky ovlivňuje i spolupůsobení méně dominantních zatížení (vítr, hmotnost potrubí, užité médium a jiné).



Obr. 3.3: Statické schéma nosné konstrukce namáhané silou od prokluzu

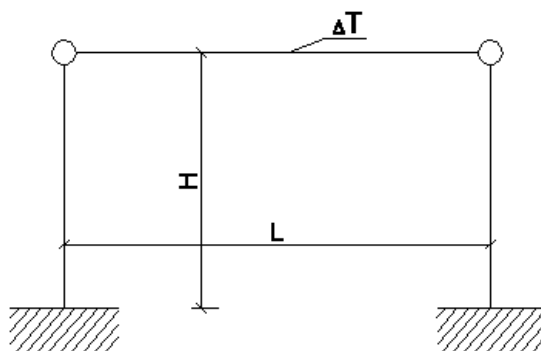


Obr. 3.4: Závislost výšky nosné konstrukce na ohybovém momentu v patě konstrukce

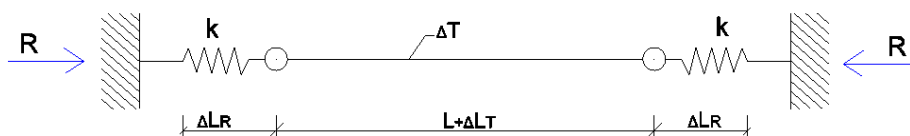
3.2 Předpoklad návrhu pomocí alternativní metody teoretické analýzy vzájemné interakce potrubí a nosné ocelové konstrukce

3.2.1 Vyjádření vodorovné reakce

V předchozí kapitole byl popsán jev, kdy síla od dilatace potrubí překročí třecí sílu tvořenou odporem posuvné podpory. Nyní nastává otázka, jakým způsobem zareaguje nosná konstrukce, pokud by nebylo dosaženo prokluzu v podpoře. Tím vzniká předpoklad, že potrubí začíná spolupůsobit s nosnou konstrukcí i ve vodorovném směru obr. 3.5. Vodorovné namáhání podle obr. 3.2 část 1 už není tak jednoznačné a není doprovázeno samostatnou dilatací potrubí, ale musí být závislé i na ohybové tuhosti nosné konstrukce. Výsledná hodnota vodorovné síly od vlivu potrubí závisí na deformační podmínce uvedená vztahem (3.4).



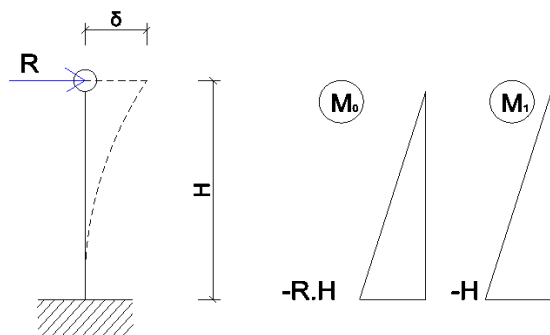
Obr. 3.5: Statické schéma nosné konstrukce se spolupůsobícím potrubím



Obr. 3.6: Grafické znázornění deformační podmínky

$$\Delta_{celkem} = \Delta L_T + \Delta L_R. \quad (3.4)$$

Δ_{celkem}	celková deformace v podélném směru potrubí	[m]
ΔL_T	podélná deformace potrubí způsobena tepelnou změnou	[m]
ΔL_R	podélná deformace potrubí způsobena od vodorovné reakce nosné konstrukce	[m]



Obr. 3.7: Statické schéma namáhání nosné konstrukce

Průhyb volného konce podle obr. 3.7 vyjádření pomocí silové metody:

$$\delta = \int_0^H \frac{M_0 M_1}{3EI_S} dx = \frac{M_0 M_1 H}{3EI_S} = \frac{-RH(-H)H}{3EI_S} = \frac{RH^3}{3EI_S} \quad (3.5)$$

Ohybová tuhost nosné konstrukce:

$$K = \frac{3EI_S}{H^3} \quad (3.6)$$

Vyjádření deformací tvořící délkové změny na potrubí:

prodloužení způsobené změnou teploty

$$\Delta L_T = \int_0^L \alpha_T \Delta T dx = \alpha_T \Delta T L, \quad (3.7)$$

prodloužení potrubí od vodorovné reakce vycházíme z Hookova zákona pro osové namáhání v tlaku

$$\Delta L_R = \int_0^L -\frac{R}{EA_P} dx = -\frac{RL}{EA_P}. \quad (3.8)$$

α_T	součinitel tepelné roztažnosti	$[^{\circ}\text{C}^{-1}]$
ΔT	změna teploty	$[^{\circ}\text{C}]$
A_P	plocha průřezu potrubí	$[\text{m}^2]$
E	modul pružnosti materiálu	$[\text{GPa}]$
I_S	moment setrvačnosti nosné konstrukce	$[\text{m}^4]$

Vyjádřením s deformační podmínky (3.4) získáváme hodnotu vodorovné síly:

$$\frac{2R}{K} = \alpha_T \Delta T L - \frac{RL}{EA_P},$$

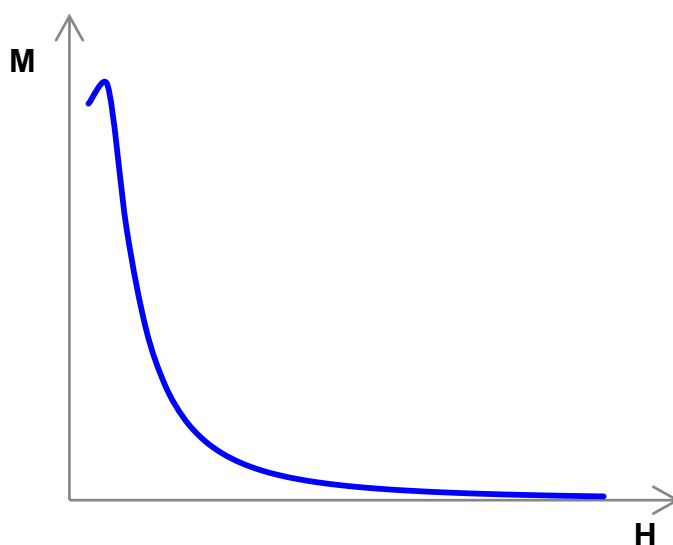
$$\frac{2RH^3}{3EI_S} = \alpha_T \Delta T L - \frac{RL}{EA_P}.$$

Vztah pro vodorovnou reakci R je tedy:

$$R = \frac{\alpha_T \Delta T L}{\frac{2H^3}{3EI_S} + \frac{L}{EA_P}}. \quad (3.9)$$

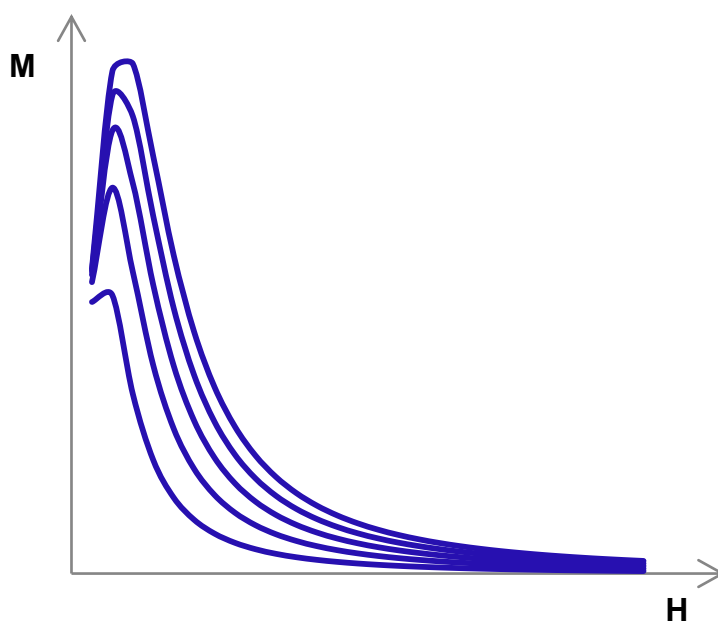
3.2.2 Vliv působením interakce

S poddajností nosných konstrukcí lze pozorovat na obr. 3.8 následný proces vzniku ohybových momentů. U nízkých podepření je patrné chování malého vzrůstu vnitřní síly s narůstající výškou, pravděpodobně tento jev způsobuje velká tuhost nosné konstrukce, ale v tomto úseku je velmi nereálné, aby nedošlo k prokluzu mezi potrubím a nosnou konstrukcí. Dále s rostoucí výškou vnitřní síla na bázi ohybového momentu vyskytující se v patě konstrukce začíná klesat, tudíž se projevuje poddajnost. Lze tedy konstatovat, že se setkáváme s jevem projevujícím se opačného efektu, oproti předchozí metodě.



Obr. 3.8: Závislost výšky nosné konstrukce na ohybovém momentu v patě konstrukce

Způsob projevení ohybových momentů s různými tuhostmi nosných konstrukcí je možno pozorovat na obr. 3.9. Se zvyšujícími tuhostmi prvků dané konstrukce a snižující se výškou konstrukce jsou nuceny odolávat větším účinkům, jen za podmínek pokud by nenastal prokluz. Pravděpodobně s vodorovnou reakcí působící od nosné konstrukce je předvídatelné, že její hodnota bude několikanásobně převyšovat nad hodnotou třecí síly, čili v podpoře dojde k prokluzu. Poddajné části větví závislé na rostoucí výšce, se limitně přibližují rovným hodnotám ohybových momentů nezávisle působících tuhostí.



Obr. 3.9: Závislost výšky nosné konstrukce na ohybovém momentu v patě konstrukce o různých tuhostech

3.2.3 Zjednodušení vztahu pro výslednou vodorovnou reakci nosné konstrukce

Nyní nastává otázka, zda není možné upravit funkci ohybového momentu, která by označovala pouze jen tu část větve, která spolupůsobí díky vlivu interakce. Vrátime-li se k rovnici (3.9) a prozkoumáme jednotlivé členy ve jmenovateli, zjišťujeme možnost vyloučení člena zohledňujícího vliv délkové roztažnosti potrubí. Působící vodorovné reakce netvoří závažnou složku z důvodu řádové velikosti oproti vlivu ohybové tuhosti nosné konstrukce. Pokusíme se vyjádřit velikosti jednotlivých členů v celkovém vztahu dosazením řádových hodnot obsahující pro tyto členy.

Předpoklad hodnot:

$$\begin{aligned}\alpha_T &= 10^{-5} \quad [^{\circ}\text{C}^{-1}], \\ \Delta T &= 10^2 \quad [^{\circ}\text{C}], \\ L &= 1 \sim 10^1 \quad [\text{m}], \\ H &= 1 \quad [\text{m}], \\ E &= 10^8 \quad [\text{kPa}], \\ I_S &= 10^{-5} \quad [\text{m}^4], \\ A_P &= 10^{-3} \quad [\text{m}^2].\end{aligned}$$

(Hodnoty vycházejí z předpokladu návrhu běžně používaných prvků konstrukcí, tento rozsah je předpokládám i pro praktický příklad)

Dosazením řádových hodnot do vztahu (3.9):

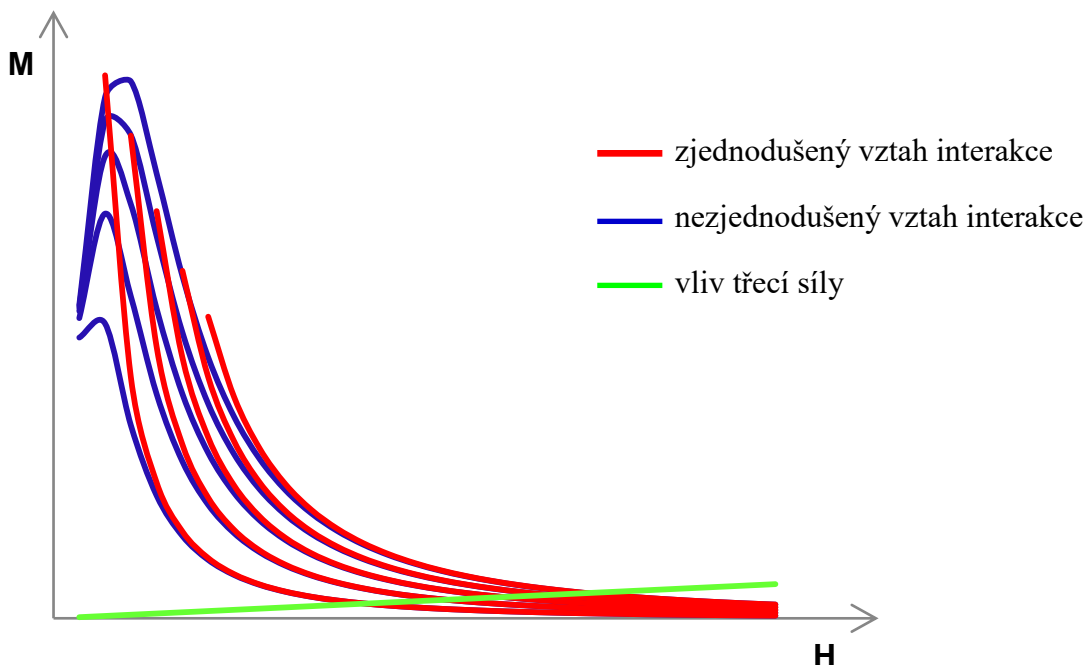
$$\begin{aligned}R &= \frac{10^{-5}10^210}{\frac{1^3}{10^810^{-5}} + \frac{10}{10^810^{-3}}}. \\ R &= \frac{10^{-2}}{\frac{10^2}{10^3} + \frac{10}{10^5}}. \\ R &= \frac{10^{-2}}{10^{-1} + 10^{-4}}.\end{aligned}$$

Po dosazení řádových hodnot je poměrně zřetelné, že druhý člen ve jmenovateli není příliš podstatný pro určování vodorovné reakce, proto můžeme tento člen vyloučit. Nyní se stává předmětem dalšího zkoumání, jestli toto zjednodušení je schopné platit v celé problematice.

Zjednodušený vztah vodorovné reakce R:

$$R = \frac{\alpha_T \Delta T L}{\frac{2H^3}{3EI_S}}. \quad (3.10)$$

Proložením grafu znázorněného obr. 3.9 funkčními hodnotami ze vztahu (3.10), pozorujeme na obr. 3.10 chování průběhů obou funkcí. Jen s optického pozorování lze pozorovat patrnou shodu průběhu obou funkcí v úsecích, kde se konstrukce chová poddajně, a s klesající výškou se hodnoty začínají vzájemně odlišovat.



Obr. 3.10: Závislost výšky nosné konstrukce na ohybovém momentu v patě konstrukce o různých tuhostech a vlivem třecí síly

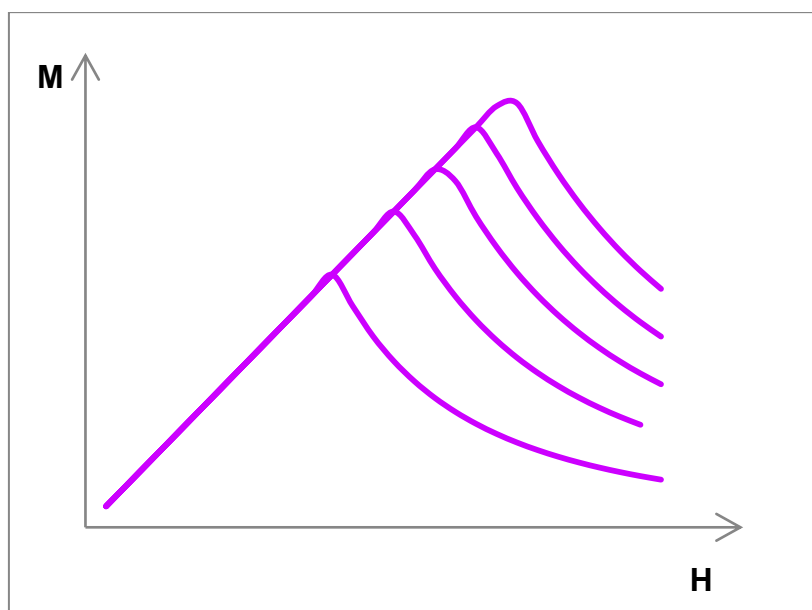
Vztahy (3.9) a (3.10) vyjadřují celkovou vodorovnou sílu působící na nosnou konstrukci. Prozatím byly všechny vztahy odvíjeny na jednotrubkovém případě, kde celková vodorovná síla se rovná hodnotě vodorovné síly působící v místě kluzné podpory.

Označíme-li vodorovnou sílu působící v podpoře jako R_k , potom v jednotrubkovém systému platí $R_k = R$. V potrubích s n počtem trubek platí pravidlo $R_k = R/n$, ale to jen za předpokladu, že všechny trubky přenášejí teplotnosné médium o stejné teplotě. V běžných případech nastává situace s přenosem teplotnosného média o různých teplotách v jednotlivých trubkách a v takové to případě pro hodnotu R vyjádřenou vztahy (3.9) a (3.10) je nutné počítat s průměrnou hodnotou od jednotlivých teplot ΔT^- . Z celkové hodnoty vodorovné síly lze dopočítat poměrově $R_{k,i}$.

3.2.4 Určení základních veličin pro působení interakce

Rozdílnost těchto hodnot se začíná projevovat v oblasti předpokládaného prokluzu. Tato oblast nemůže vzniknout, pokud je dodržena podmínka (3.3). Z grafického hlediska se omezuje vztahem vycházejícího z kapitoly 3.1 na základě obr. 3.4. Hodnoty ohybových momentů vznikající od třecí síly, působící na ramenu výšky nosné konstrukce, dokážou omezit vznikající rozdílovou oblast obr. 3.10. Zjednodušeně řečeno, jestliže se potká funkce ohybového momentu s vlivem třecí síly s funkcí ohybového momentu interakce, přestává potrubí proklouzávat po podpoře a hodnota ohybového momentu s rostoucí výškou se stává, závislá na funkci podle interakčních předpokladů viz obr. 3.11.

Znázorněním v obr. 3.10 získáváme jistotu přesnosti použití zjednodušeného vztahu (3.10) vodorovné síly v patě nosné konstrukce.



Obr. 3.11: Závislosti výšky nosné konstrukce na ohybovém momentu v patě konstrukce o různých tuhostech

Hlavním bodem podle obr. 3.11 je přechod, kde místo působení třecí síly v hlavě nosné konstrukce začne spolupůsobit dohromady jako jeden celek s potrubím. Spojením obou funkcí pod opačným charakterem podmínky dané vztahem (3.3) lze vyjádřit vztah nerovnice deklarující hodnotu výšky nebo štíhlosti nosné konstrukce pro počátek působení interakce nosné konstrukce s potrubím.

Dosazení do vztahu (3.3) opačného významu:

$$F_{t,i} > R, \quad (3.11)$$
$$m_p \cdot \mu \cdot g > \frac{\alpha_T \Delta T L}{\frac{2H^3}{3EI_S}},$$
$$\frac{2H^3}{3EI_S} > \frac{\alpha_T \Delta T L}{m_p \cdot \mu \cdot g}.$$

Vztah výšky působení interakce:

$$H > \sqrt[3]{\frac{3\alpha_T \Delta T L E I_S}{2m_p \cdot \mu \cdot g}}. \quad (3.12)$$

Takto vyjádřená hodnota může být bráno jako jeden z prvních vstupních údajů v návrhu a především poslouží jako kontrola, jestli projektant může využít smyslu interakce.

Výškový rozměr může být zavádějící s hlediska různých druhů délkových jednotek. Ne vždy je přesná hodnota v jednom délkovém systému vhodná veličina pro určování v jiném délkovém systému. Proto je vhodnější vyjadřovat se v bezrozměrných veličinách.

Vrátíme-li se zpět ke vztahu (3.11) lze po možných matematických úpravách definovat bezrozměrnou veličinu, která dokáže definovat charakter sloupů a podobně fungujících nosných prvků. Štíhlost nebo štíhlostní poměr je bezrozměrné číslo definující celkové geometrické parametry prvku i jeho podepření.

Vztah pro štíhlostní poměr:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i}, \quad (3.13)$$

kde

$$L_{cr} = H\beta, \quad (3.14)$$

a

$$i = \sqrt{\frac{I_S}{A_S}}. \quad (3.15)$$

L_{cr}	vzpěrná délka	[m]
β	součinitel vzpěrné délky, pro tento případ je hodnota $\beta = 2$	[-]
i	poloměr setrvačnosti	[m]
A_s	plocha průřezu nosné konstrukce	[m ²]

$$\frac{4H^3}{6EI_s} > \frac{\alpha_T \Delta T L}{m_p \cdot \mu \cdot g}.$$

$$\frac{H\lambda^2}{6EA_s} > \frac{\alpha_T \Delta T L}{m_p \cdot \mu \cdot g}.$$

Vztah štíhlosti působení interakce:

$$\lambda > \sqrt{\frac{6\alpha_T \Delta T L E A_s}{H m_p \cdot \mu \cdot g}}. \quad (3.16)$$

Podmínka určující podmínku štíhlosti dokáže velmi dobře nastínit charakteristiku nosné konstrukce. Hodnota štíhlosti pro ocelové konstrukce se pohybuje maximálně do 200.

3.2.5 Deformační podmínka

Poddajností sloupu lze docílit velmi malých hodnot vnitřních sil. Avšak takovéto zvýhodnění nese s sebou určité úskalí spočívající vznikem globální deformace v hlavě nosné konstrukce. Návrh touto metoda je založen na poddajnosti nosné konstrukce, ale deformace musí splňovat určité limity a kritéria v podobně použitelnosti. Vodorovné vychýlení konstrukce nemůže překročit stanovenou mez použitelnosti vztah (3.17).

$$\delta_{max} = \frac{1}{x} H. \quad (3.17)$$

$1/x$	hodnota určující mez použitelnosti podle viz ČSN EN 1993-1-1 NA.2.23	[-]
-------	--	-----

Z deformačního omezení vyplývá podmínka, která může rozhodovat při prvotním návrhu konstrukce. Vodorovné přetvoření volného konce podle vztahu (3.5) by nemělo překročit hodnotu vztahem (3.17). Z čehož vzniká další omezující vztah:

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{RH^3}{3EI} \leq \delta_{max} = \frac{H}{x}, \\ \frac{\alpha_T \Delta T L}{\frac{2H^3}{3EI_s}} \cdot \frac{H^3}{3EI} &\leq \frac{H}{x}, \\ \frac{\alpha_T \Delta T L}{2} &\leq \frac{H}{x}, \\ \alpha_T \Delta T &\leq \frac{2H}{xL}, \\ \alpha_T \Delta T x &\leq \frac{L_{cr}}{L}.\end{aligned}\tag{3.18}$$

Po matematickém vyjádření dostáváme podmínku vztah (3.18). Překvapivě se tato podmínka omezila jen na základní vstupní veličiny, kterými jsou působnost od teplotních změn potrubí a poměru rozměrových veličin dvojnásobku výšky nosné konstrukce neboli kritické vzpěrné délky a jejich vzdáleností. Takovým to zjednodušeným vztahem lze předcházet nepříjemným deformacím při návrhu konstrukce.

3.2.6 Smysl výpočtu pro celkový dilatační úsek

Prozatím práce demonstruje chování spolupůsobení nosné konstrukce a potrubí podle obr. 3.5. Takový to model není identický vůči reálnému dilatačnímu celku potrubí. Reálná konstrukce je složena z n počtů nosných konstrukcí. Což v celkovém modelu zahrnuje komplikovanější výpočet. Ze statického hlediska s každou podpůrnou konstrukcí vzrůstá výpočet o 2x statickou neurčitost. Nyní nastává rozhodnutí, zda se opřít o podrobný výpočet, který zahrne celkovou problematiku nebo zvolit zjednodušené řešení.

Zjednodušeným řešením je myšleno, vycházení z předešlé logiky. V předchozí kapitole 3.2.3 jsme se ujistili o zanedbatelném významu vodorovné poddajnosti potrubí na výsledek vodorovné reakce. Reakce závisí na ohybové tuhosti nosné konstrukce, a pokud potrubní

systém je složen z více nosných konstrukcí, jednotlivé konstrukce pojmu dilatační účinky od potrubí, kde krajní konstrukce vždy přenášejí největší hodnotu. Existuje řešení, pokud jsou dodrženy určité podmínky, hodnoty vodorovných reakcí v krajních nosných konstrukcích jsou totožné při výpočtu podle vztahu 3.9 a 3.10 s metodami zohledňující kompletní model např. deformační metoda nebo MKP model.

Porovnáme-li výsledné hodnoty reakcí podle upravených vztahů 3.9 a 3.10, kde proměnnými hodnotami jsou štíhlosti měnící se s výškou nosné konstrukce a s modelem vytvořený jako MKP, dostáváme určitou shodu výsledných hodnot od příslušné štíhlosti viz obr.3.12.

Vzdálenost L je brána jako celková délka dilatačního úseku.

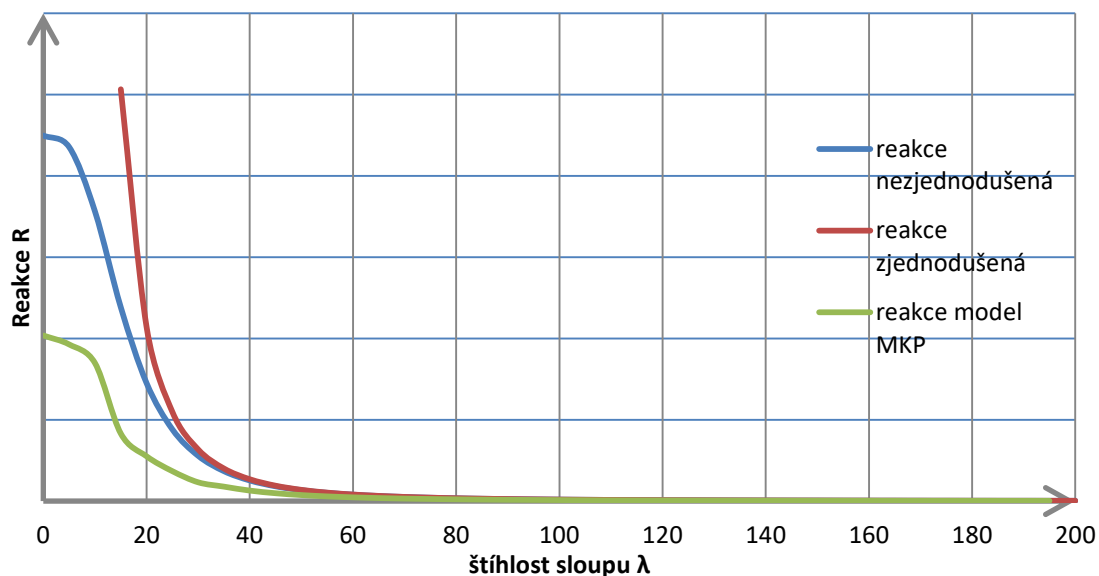
Upravený vztah 3.9 tzv. nezjednodušená forma:

$$R = \frac{\alpha_T \Delta T L}{\frac{H \lambda^2}{6EA_S} + \frac{L}{EA_P}}, \quad (3.19)$$

upravený vztah 3.10 tzv. zjednodušená forma:

$$R = \frac{\alpha_T \Delta T L}{\frac{H \lambda^2}{6EA_S}}. \quad (3.20)$$

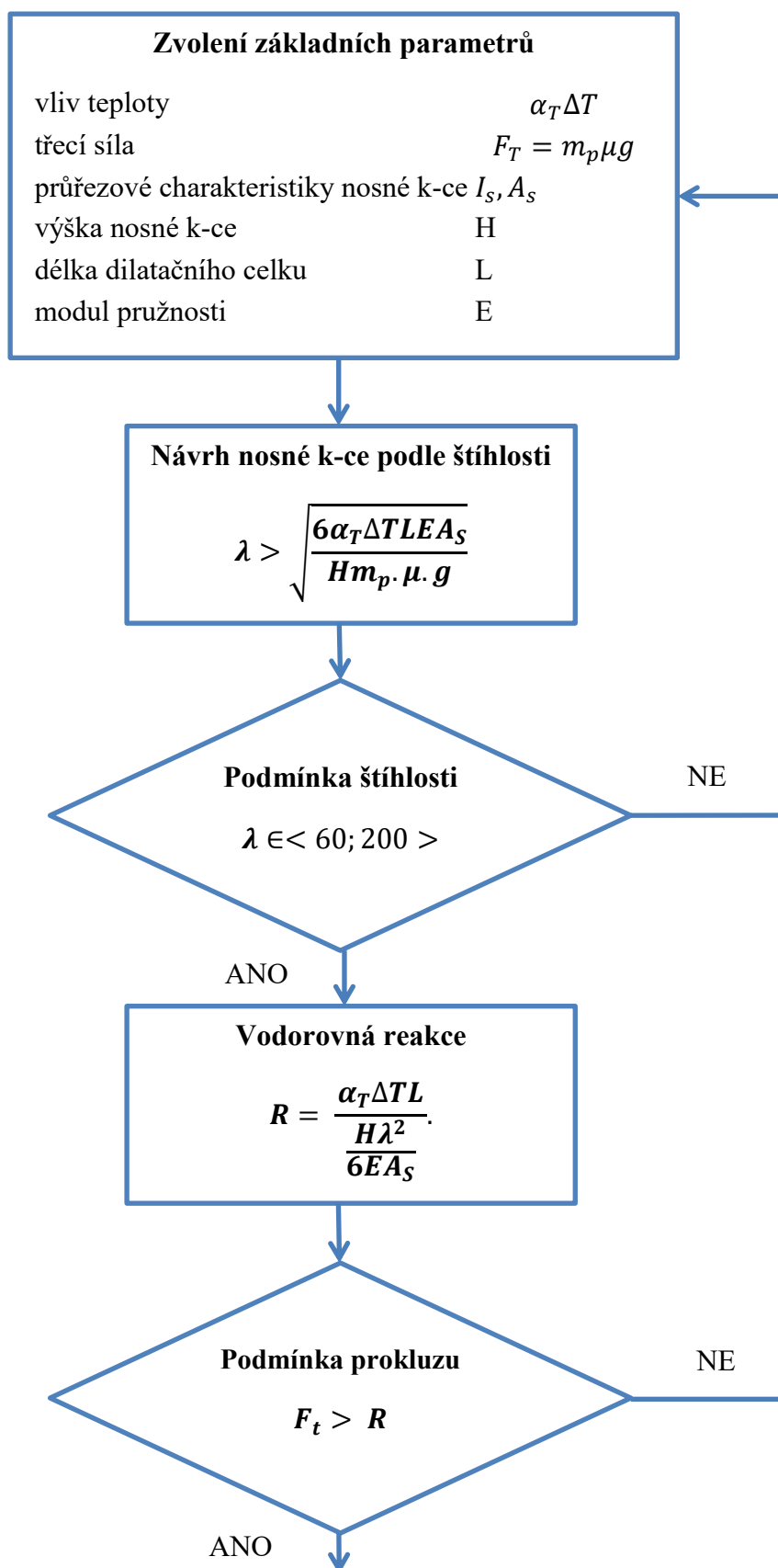
V MKP modelu vytvořeného ve Scia Engineer 15.3.120 – studentská verze, byly následně modelovány nosné konstrukce se stejnými charakteristikami štíhlosti jako při dosazování do vztahů (3.19) a (3.20). Konstrukce byly modelovány v rozmezí štíhlosti od $(0 - 200 >)$.

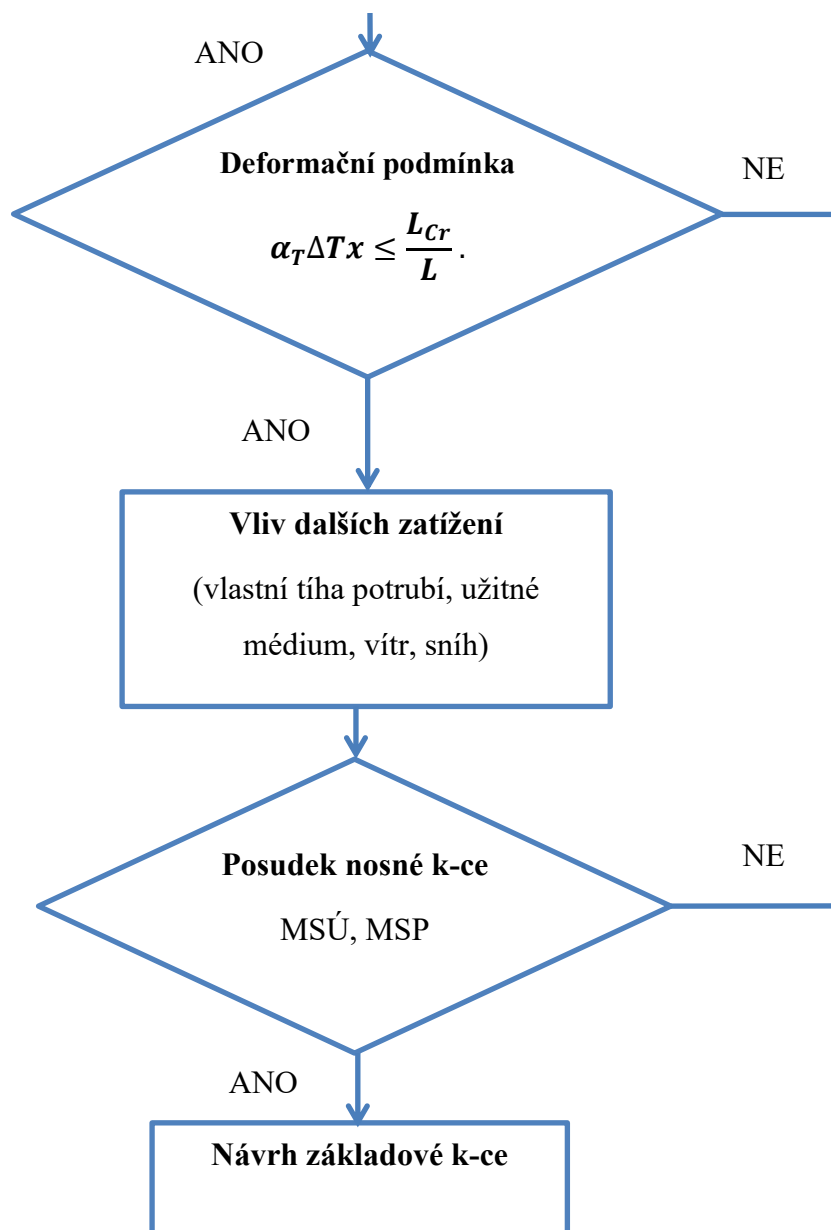


Obr. 3.12: Vykreslení závislosti štíhlostí na vodorovných reakcích v patě nosné konstrukce

Na základě obr. 3.12 lze pozorovat shodu výsledných vodorovných reakcí. Reakce od zjednodušeného nebo nezjednodušeného vztahu dosahují shody při menších štíhlostech, což znamená, že vliv poddajnosti potrubí nepřikládá žádný význam. Čili lze opět vycházet se zjednodušeného předpokladu. Experimentálním porovnáváním dosahující shoda mezi MKP modelem a zjednodušeným postupem nastává od hodnoty 60 a více. Tuto hodnotu je možno brát jako hraniční, protože se ukázalo při nezávislých změnách jak u prvků potrubí tak průřezu nosné konstrukce, vždy největší rozdíly začínají nastávat od této hodnoty. Ukazuje se, že od této hodnoty jsou nosné konstrukce poddajnější a vnitřní konstrukce se v podstatě začnou chovat jako kyvné stojky. Z čehož vyplívá interval používaných štíhlostí $\langle 60; 200 \rangle$.

3.2.7 Postup návrhu interakce





4 Návrh nosné konstrukce

Úkolem návrhu je sestavit spolehlivě fungující potrubní systém, splňující podmínky z hlediska statické analýzy. Jednotlivé využití všech výpočtových metod probíraných v této práci viz kapitoly 3.1 a 3.2 a porovnáním MKP modelu pomocí softwaru.

Návrh potrubí se týká jednotrubkového systému. Jedná se o vodní systém přenášející médium (vodu) v teplotě 100 °C s tlakem vody 1,5 MPa. Hodnota montážní teploty 5 °C. Velikosti potrubí obou větví tvoří ocelové, bezešvé trubky DN 250 třídou oceli P235GH. Potrubní systém je veden 5 m nad zemním povrchem s celkovou délkou 56 m a dilatační délkou ovlivňující nosné k-ce 48 m. Jedná se pouze o rovný úsek omezený z obou stran kompenzátory pro vyrovnávání dilatace potrubí.

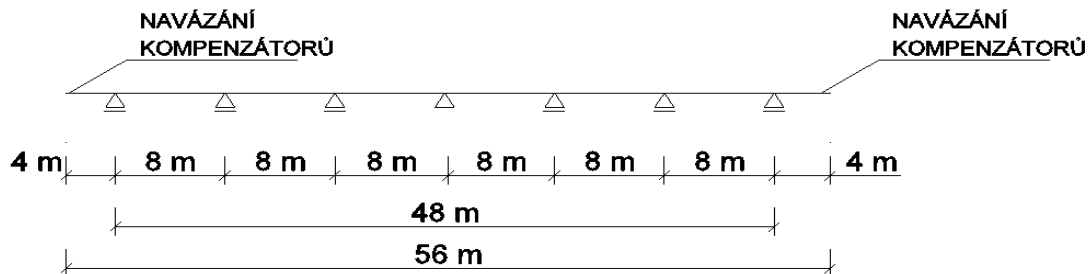
Tabulka 4.1: Hodnoty potrubí zadané výrobcem^[8]

přípustný průhyb	$f = 4 \text{ mm}$
moment setrvačnosti	$I_p = 3,781 \cdot 10^3 \text{ cm}^4 = 3,781 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$
celková hmotnost potrubí včetně teplotosné trubky, plášťové trubky, tepelné izolace a užiténého média	$F_g = 1,006 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-1} = 100,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$
objemová hmotnost média (voda)	$\rho_w = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
vnější průměr teplotosného potrubí	$d_a = 273 \text{ mm}$
vnitřní průměr teplotosného potrubí	$d_i = 263 \text{ mm}$
tloušťka stěny potrubí	$s = 5 \text{ mm}$
plocha průřezu potrubí	$A_p = 4209,73 \text{ mm}^2$
vnější průměr plášťové trubky	$D_a = 400 \text{ mm}$
gravitační zrychlení	$g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
mez kluzu materiálu potrubí	$f = 235 \text{ MPa}$
koeficient bezpečnosti do teploty 400°C	1,5
dovolené namáhání materiálů	$\sigma_{dov} = \frac{f}{1,5} = \frac{235}{1,5} = 156,67 \text{ MPa}$

Výpočet vzdáleností nosných konstrukcí potrubí podle vztah (2.1):

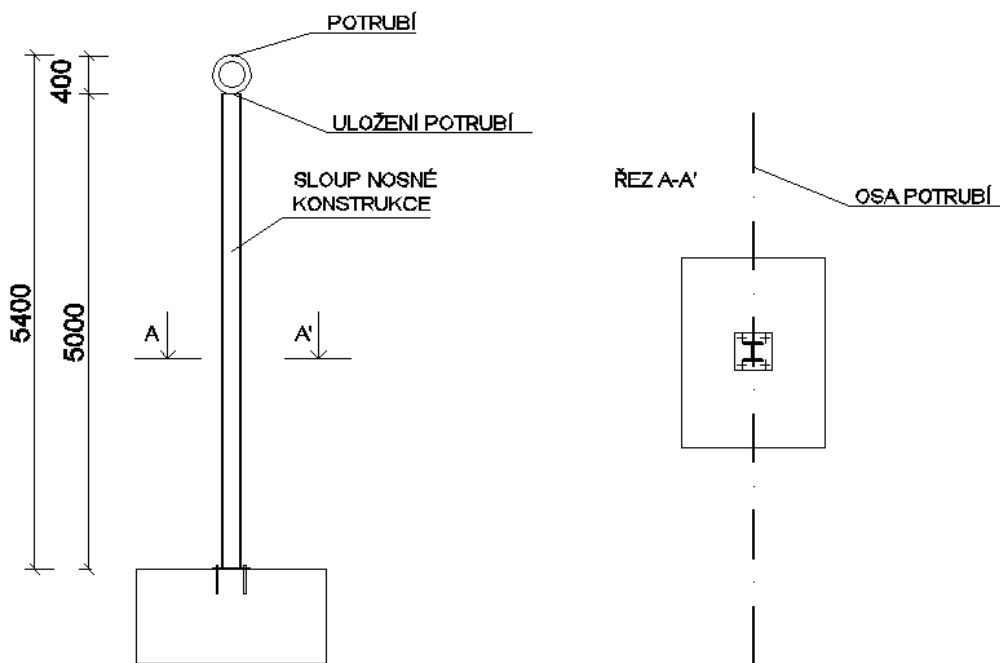
$$L_s = \sqrt[4]{\frac{f \cdot I}{\rho_g \cdot 2,48}} = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 3,781 \cdot 10^3}{1,006 \cdot 2,48}} = 8,82 \text{ m} \cong 8 \text{ m}.$$

Rovinný úsek rozdělen na 6 polí po 8 m čímž vzniká 7 nosných konstrukcí a zbytkové přesahy navazují na kompenzátory. Nosné konstrukce ukotveny do ŽB patek viz obr.4.2. Postupné rozmístění vazeb podpor podle obr. 4.1.



Obr. 4.1: Schéma vazeb podpor

Návrh nosné konstrukce předpokládá kluznou vazbu mezi konstrukcí a potrubím. Očekává se typ podpěry podle obr.2.12 b). Vlivem opotřebování a koroze v kluzné podpoře nastává mezi materiály tření, přičemž možná hodnota se může pohybovat kolem 60%. Na nosnou konstrukci použit materiál S235 běžné využíván pro konstrukční účely.



Obr. 4.2: Popis nosné konstrukcí

4.1 Zatížení

4.1.1 Zatížení od potrubí

Z tabulky 4.1 celkové hmotnosti potrubí včetně teplotnosné trubky, plášťové trubky, tepelné izolace a užitého média $100,6 \text{ kg.m}^{-1}$. Zatížení určováno podle ČSN EN 1991-1-1.

průtočná plocha potrubí	$A_i = \frac{\pi d_i^2}{4} = \frac{\pi \cdot 263^2}{4} = 54325,21 \text{ mm}^2 = 5,433 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$
zatížení médiem (voda)	$p_w = A_i \cdot \rho_w \cdot g = 5,433 \cdot 10^{-2} \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,55 \text{ kN.m}^{-1}$
zatížení potrubí bez média	$p_g = \rho_g \cdot g - p_w = 100,6 \cdot 10 \cdot 10^{-3} - 0,53 = 0,46 \text{ kN.m}^{-1}$
Celková délka	$L = 56 \text{ m}$
síla v podpoře médium	$F_w = \frac{p_w \cdot L}{7} = \frac{0,55 \cdot 56}{7} = 4,40 \text{ kN}$
Síla v podpoře potrubí bez média	$F_g = \frac{p_g \cdot L}{7} = \frac{0,46 \cdot 56}{7} = 3,68 \text{ kN}$
Maximální třecí síla v podpoře	$F_t = (F_w + F_g) \cdot \mu = (4,40 + 3,68) \cdot 0,6 = 4,85 \text{ kN}$

4.1.2 Zatížení větrem

Návrh zvolen pro okolí města Ostravy. Větrná oblast II. a kategorie terénu III. postup podle ČSN EN 1991-1-4.

výchozí zákl. rychlost větru	$v_{b,0} = 25 \text{ m.s}^{-1}$	
základní rychlost větru	$V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot V_{b,0} =$	$1 \cdot 1,25 = 25 \text{ m.s}^{-1}$
součinitel ročního období	$c_{season} = 1,0$	
součinitel směru větru	$c_{dir} = 1,0$	
základní tlak větru	$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot V_b^2 =$	$0,5 \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,63 \text{ N.m}^{-2}$ $= 0,39 \text{ kN.m}^{-2}$
hustota vzduchu	$\rho = 1,25 \text{ kg.m}^{-3}$	
místní vlivy		
střední rychlost větru	$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b =$	$0,55 \cdot 1,25 = 13,75 \text{ m.s}^{-1}$
Součinitel ortografie	$c_0(z) = 1,0$	

Výška nad úrovní terénu	$z = 5,4 \text{ m}$		
Min. výška	$z_{\min} = 5 \text{ m}$		
$Z > Z_{\min}$	\rightarrow	$z = 5,4 \text{ m}$	
Součinitel drsnosti terénu	$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) =$	$0,19 \cdot \ln(5,4/0,3) =$	$0,55$
Parametr drsnosti terénu	$z_0 = 0,30 \text{ m}$		
Součinitel terénu	$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0II})^{0,07} =$	$0,19 \cdot (0,3/0,3)^{0,07} =$	$0,19$
Par. drsnosti terénu dle kat.	$z_{0,II} = 0,30 \text{ m}$		
Intenzita turbulence	$I_v(z) = k_1 / (c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)) =$	$1 / (1 \cdot \ln(5,4/0,3)) =$	$0,35$
Součinitel turbulence	$k_1 = 1,0$		

Maximální dynamický tlak

$$q_p = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,35] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 13,75^2 = 0,41 \text{ kPa}$$

Vítr působící na plášť potrubí:

kinematická viskozita vzduchu	$\nu = 15 \cdot 10^{-6}$
maximální rychlost vzduchu	$v(z_e) = \sqrt{2 \cdot \frac{q_p}{\rho}} = \sqrt{2 \cdot \frac{408}{1,25}} = 18,07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
celkový průměr potrubí	$b = 0,4 \text{ m}$
Reynoldsovo číslo	$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} = \frac{0,4 \cdot 18,07}{15 \cdot 10^{-6}} = 4,82 \cdot 10^5$
ekvivalentní drsnost	$k = 0,2 \text{ mm}$
	$\frac{k}{b} = \frac{0,2}{400} = 5 \cdot 10^{-4}$
součinitel síly	$c_{f0} = 0,6$
referenční plocha	$A_{ref} = b \cdot L = 0,4 \cdot 56 = 22,4 \text{ m}^2$
efektivní štíhlost	$\lambda = \frac{L}{b} = \frac{56}{0,4} = 140$
součinitel koncového efektu	$\psi_\lambda = 1$
součinitel síly	$c_f = c_{f0} \psi_\lambda = 0,6 \cdot 1 = 0,6$
Součinitel konstrukce	$c_s c_d = 1$
síla od větru	$F_v = c_s c_d c_f q_p A_{ref} = 1 \cdot 0,6 \cdot 0,41 \cdot 22,4 = 5,48 \text{ kN}$

Síla od větru pro jednu konstrukci $F_{v1} = \frac{F_v}{7} = \frac{5,48}{7} = 0,78 \text{ kN}$

Spojité zatížení na potrubí $p_v = \frac{F_v}{L} = \frac{5,48}{56} = 0,10 \text{ kN.m}^{-1}$

Vítr působící na nosnou konstrukci zjednodušené metody

Šířka prvku $b = 0,170 \text{ m}$

Reynoldsovo číslo $Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{v} = \frac{0,17 \cdot 18,07}{15 \cdot 10^{-6}} = 2,288 \cdot 10^5$

ekvivalentní drsnost $k = 0,2 \text{ mm}$

$$\frac{k}{b} = \frac{0,2}{170} = 1,176 \cdot 10^{-3}$$

součinitel síly $c_{f0} = 2$

referenční plocha $A_{ref} = b \cdot H = 0,170 \cdot 5 = 0,85 \text{ m}^2$

efektivní štíhlost $\lambda = \frac{H}{b} = \frac{5}{0,170} = 29,41 \Rightarrow \min = 70$

součinitel koncového efektu $\psi_\lambda = 1$

součinitel síly $c_f = c_{f0} \psi_\lambda = 2 \cdot 1 = 2$

Součinitel konstrukce $c_s c_d = 1$

síla od větru $F_v = c_s c_d c_f q_p A_{ref} = 1 \cdot 2 \cdot 0,41 \cdot 0,85 = 0,69 \text{ kN}$

liniové zatížení od větru $p_v = \frac{F_v}{H} = \frac{0,69}{5} = 0,14 \text{ kN.m}^{-1}$

Vítr působící na nosnou konstrukci alternativní metody

Šířka prvku $b = 0,152 \text{ m}$

Reynoldsovo číslo $Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{v} = \frac{0,152 \cdot 18,07}{15 \cdot 10^{-6}} = 1,831 \cdot 10^5$

ekvivalentní drsnost $k = 0,2 \text{ mm}$

$$\frac{k}{b} = \frac{0,2}{152} = 1,316 \cdot 10^{-3}$$

součinitel síly $c_{f0} = 2$

referenční plocha $A_{ref} = b \cdot H = 0,152 \cdot 5 = 0,76 \text{ m}^2$

efektivní štíhlost $\lambda = \frac{H}{b} = \frac{5}{0,152} = 32,89 \Rightarrow \min = 70$

součinitel koncového efektu $\psi_\lambda = 1$

součinitel síly

$$c_f = c_{f0}\psi_\lambda = 2.1 = 2$$

Součinitel konstrukce

$$c_s c_d = 1$$

síla od větru

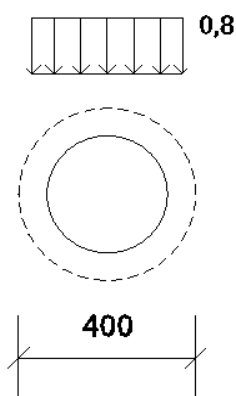
$$F_v = c_s c_d c_f q_p A_{ref} = 1.2.0.41.0.76 = 0.62 \text{ kN}$$

liniové zatížení od větru

$$p_v = \frac{F_v}{H} = \frac{0.62}{5} = 0.12 \text{ kN.m}^{-1}$$

4.1.3 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem může nastat při poruše potrubí nebo nutné odstávce potrubí v zimních měsících. Zvolena sněhová oblast I. postup podle ČSN EN 1991-1-3.



Obr. 4.3: Schéma zatížení sněhem

charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi $s_k = 1 \text{ kN.m}^{-2}$

součinitel expozice závislý na typu krajiny $C_e = 1$

tepelný součinitel $C_t = 1$

tvarový součinitel $\mu_3 = 0.8$

charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

$$s = s_k C_e C_t \mu_3 = 1.1.1.0.8 = 0.8 \text{ kN.m}^{-2}$$

liniové zatížení působící na potrubí

$$p_s = s d = 0.8.0.4 = 0.32 \text{ kN.m}^{-1}$$

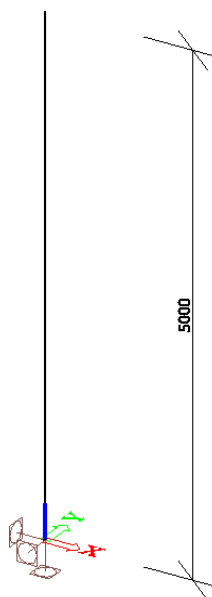
síla od sněhu pro jednu konstrukci

$$F_s = \frac{p_s \cdot L}{7} = \frac{0.32 \cdot 56}{7} = 2.56 \text{ kN}$$

4.2 Návrh a posouzení nosné konstrukce horkovodu zjednodušenou metodou

Návrh proveden podle zatěžovacích předpokladů z kapitoly 3.1 od vlivu dilatačních jevů potrubí. Další zatížení podle kapitoly 4.1.

4.2.1 Statické schéma a navrhnuté prvky



Obr. 4.4 Statické schéma posuzované nosné konstrukce jednotrubkového horkovodu, běžný způsob

Tabulka 4.2: Navrhnuté průřezy nosné konstrukce jednotrubkového horkovodu, běžný způsob

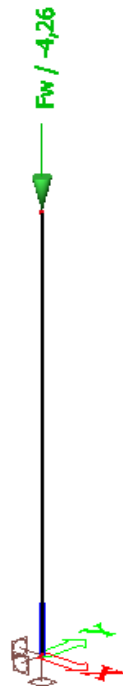
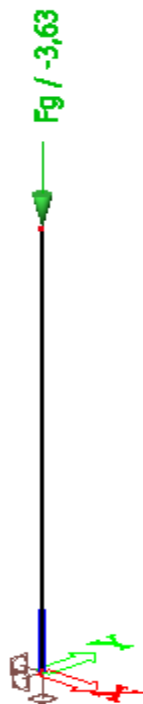
Jméno	Typ	Materiál	Výroba
	Detailní		
Sloup	HEA180	S 235	válcovaný

4.2.2 Zatěžovací stavy

Vlastní tíha – automaticky vygenerována softwarem Scia Engineer.

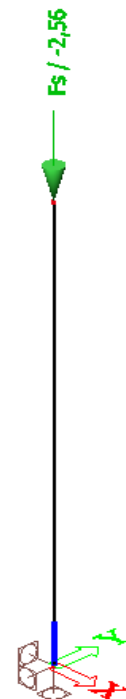
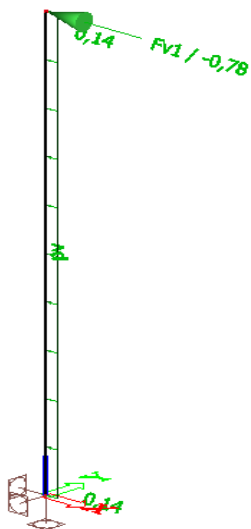
Stálé zatížení od potrubí (kN)

Užitné zatížení vodou (kN)

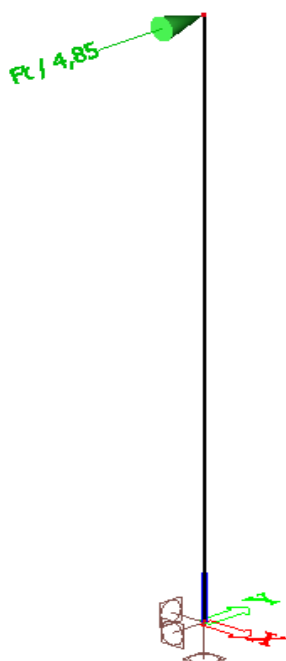


Nahodilé zatížení větrem (kN; kN/m)

Nahodilé zatížení sněhem (kN)



Užitné zatížení od teplotní dilatace potrubí (kN)



Tabulka 4.3: Charakteristiky zatěžovacích stavů

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Směr	Působení	Řídící zat. stav
	Spec	Typ zatížení				
vlastní tíha		Stálé Vlastní tíha	stálé	-Z		
potrubí		Stálé Standard	stálé			
voda	Standard	Proměnné Statické	voda		Dlouhodobé	Žádný
vítr	Standard	Proměnné Statické	vítr		Krátkodobé	Žádný
sníh	Standard	Proměnné Statické	sníh		Krátkodobé	Žádný
tření	Standard	Proměnné Statické	tření		Dlouhodobé	Žádný

4.2.3 Skupiny zatížení

Tabulka 4.4: Charakteristika skupin zatížení

Jméno	Zatížení	Vztah	Typ
stálé	Stálé		
voda	Proměnné	Standard	Voda
vítr	Proměnné	Výběrová	Vítr
sníh	Proměnné	Výběrová	Sníh
tření	Proměnné	Standard	Teplota

4.2.4 Kombinace zatěžovacích stavů

Tabulka 4.5: Kombinace zatěžovacích stavů

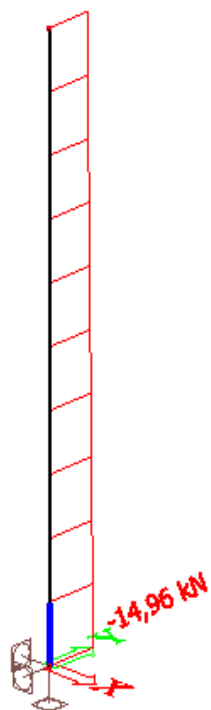
Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
MSÚ1	provozní	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	vlastní tíha	1,00
			potrubí	1,00
			voda	1,00
			vítr	1,00
			tření	1,00
MSÚ	porucha	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	vlastní tíha	1,00
			potrubí	1,00
			voda	1,00
			vítr	1,00
			sníh	1,00
CHAR	stálé	EN-MSP charakteristická	vlastní tíha	1,00
			potrubí	1,00
CHAR1	proměnné - provozní	EN-MSP charakteristická	voda	1,00
			vítr	1,00
			tření	1,00
CHAR3	proměnné - porucha	EN-MSP charakteristická	voda	1,00
			vítr	1,00
			sníh	1,00

Bezpečností součinitele pro zatěžovací stavy na základě zadaných kombinací generuje Scia Engineer automaticky podle ČSN EN 1990.

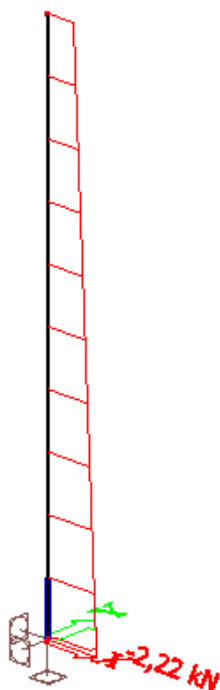
4.2.5 Vykreslení průběhů vnitřních sil

Generování vnitřních sil pomocí obálek

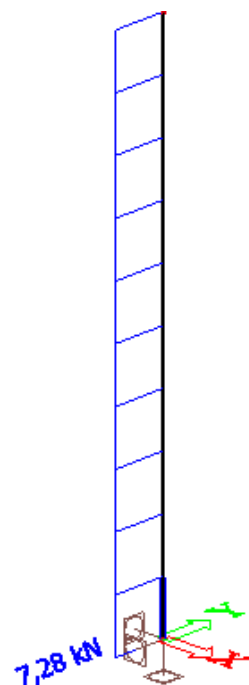
Normálová síla N



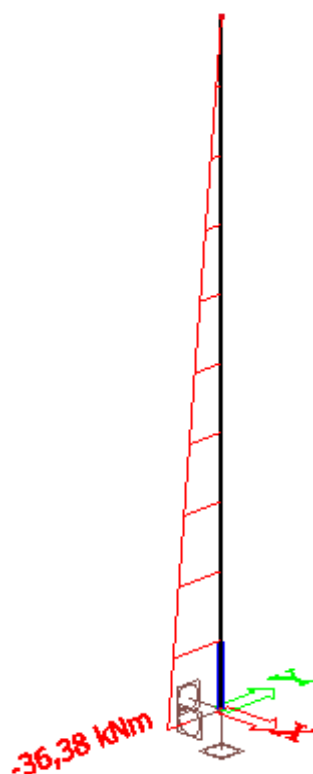
Posouvající síla V_y



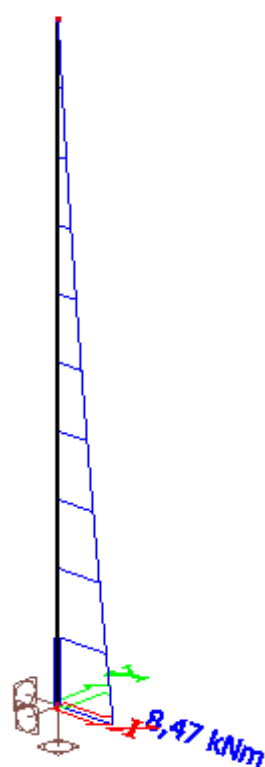
Posouvající síla V_z



Ohybový moment M_y



Ohybový moment M_z



4.2.6 Posouzení sloupu

Posouzení podle ČSN 1993-1-1

Vnitřní síly na sloupu

$$N_{Ed} = -14,96 \quad \text{kN}$$

$$V_{y,Ed} = -2,22 \quad \text{kN}$$

$$V_{z,Ed} = 7,28 \quad \text{kN}$$

$$M_{y,Ed} = 36,38 \quad \text{kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 8,47 \quad \text{kNm}$$

třída průřezu

pásnice $c = 87 \text{ mm}$

$$t = 9,5 \text{ mm}$$

tř. 2

$$\frac{c}{t} = \frac{87}{9,5} = 9,16 \leq 10\varepsilon = 10$$

stojina $c = 152 \text{ mm}$

$$h_w = 6 \text{ mm}$$

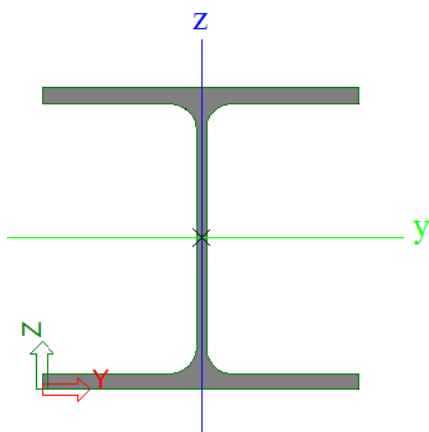
tř. 1

$$\frac{c}{h_w} = \frac{152}{6} = 25,33 \leq 72\varepsilon$$

$$= 72$$

průřez brán jako **třída 2**

Průřezové charakteristiky sloupu



průřezový modul $W_{Pl,y} = 3,2500e^{-4} \quad \text{m}^3$

$$W_{Pl,z} = 1,5667e^{-4} \quad \text{m}^3$$

průřezová plocha $A = 4,5300e^{-3} \quad \text{m}^2$

$$I_t = 1,4800e^{-7} \quad \text{m}^4$$

výsečový mom. setrvačnosti $I_w = 6,0211e^{-8} \quad \text{m}^6$

moment setrvačnosti $I_z = 9,2500e^{-6} \quad \text{m}^4$

$$I_y = 2,5100e^{-5} \quad \text{m}^4$$

smyková plocha $A_y = 3,2772e^{-3} \quad \text{m}^2$

$$A_z = 1,0992e^{-3} \quad \text{m}^2$$

Vliv smykového působení

$$V_{Pl,Rd,y} = \frac{A_y(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{2} \frac{3,2772e^{-3}(235 \cdot 10^3/\sqrt{3})}{1} = 222,32 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,Rd,y} = 222,32 \text{ kN} \geq V_{y,Ed} = 2,22 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,Rd,z} = \frac{A_z(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{2} \frac{1,0992e^{-3}(235 \cdot 10^3/\sqrt{3})}{1} = 74,57 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,Rd,z} = 74,57 \text{ kN} \geq V_{z,Ed} = 7,28 \text{ kN}$$

Smykové působení lze zanedbat

Posouzení sloupu na tlačení dvojsoý ohyb

součinitel vzpěrné délky $k_z = 1, k_w = 1$

bezrozměrný parametr
kroucení $k_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1,25} \sqrt{\frac{210 \cdot 6,0211e^{-8}}{81 \cdot 1,4800e^{-7}}} = 0,32$

součinitel zohledňující tvar
ohybového momentu $C_{1,0} = 1,77, C_{1,1} = 1,85$
 $C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0})k_{wt} = 1,77 + (1,85 - 1,77)0,32 = 1,80$

bezrozměrný kritický moment
k hlavním osám z-z $\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + k_{wt}^2} = \frac{1,80}{1} \sqrt{1 + 0,32^2} = 1,89$

Pružný kritický moment při
klopení

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 1,89 \frac{\pi \sqrt{210 \cdot e^6 \cdot 9,2500e^{-6} 81e^6 \cdot 1,4800e^{-7}}}{2,5} = 90,61 \text{ kNm}$$

poměrná štíhlost $\lambda_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,2500e^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{90,61}} = 0,92$

součinitel imperfekce klopení

pro křivku klopení b $\alpha_{LT} = 0,34$

$$\beta = 0,75$$

$$\lambda_{LT,0}^- = 0,4$$

$$\phi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT}^- - \lambda_{LT,0}^-) + \beta\lambda_{LT}^{-2}] = 0,5[1 + 0,34(0,92 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,92^2] = 0,91$$

součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta\lambda_{LT}^{-2}}} = \frac{1}{0,91 + \sqrt{0,91^2 - 0,75 \cdot 0,92^2}} = 0,74$$

$$N_{R,k} = A \cdot f_y = 4,5300e^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 1064,55 \text{ kN}$$

$$M_{y,R,k} = W_{y,pl} \cdot f_y = 3,2500e^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 = 76,38 \text{ kNm}$$

$$M_{z,R,k} = W_{z,pl} \cdot f_y = 1,5667e^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 = 36,82 \text{ kNm}$$

vzpěr kolmo k y-y

$$\lambda_y = L_{cr,y-y} \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 10 \sqrt{\frac{4,5300e^{-3}}{2,5100e^{-5}}} = 134,34$$

$$\lambda_y^- = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{\lambda_y}{93,9\epsilon} \frac{134,34}{93,9 \cdot 1} = 1,43$$

Křivka vzpěrnosti b

$$\alpha = 0,34$$

$$\phi_y = 0,5[1 + \alpha(\lambda_y^- - 0,2) + \lambda_y^{-2}] = 0,5[1 + 0,34(1,43 - 0,2) + 1,43^2] = 1,73$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^{-2}}} = \frac{1}{1,73 + \sqrt{1,73^2 - 1,43^2}} = 0,37$$

vzpěr kolmo k z-z

$$\lambda_z = L_{cr} \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 10 \sqrt{\frac{4,5300e^{-3}}{9,2500e^{-6}}} = 221,30$$

$$\lambda_z^- = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{\lambda_z}{93,9\epsilon} \frac{221,30}{93,9 \cdot 1} = 2,36$$

Křivka vzpěrnosti c

$$\alpha = 0,49$$

$$\phi_z = 0,5[1 + \alpha(\lambda_z^- - 0,2) + \lambda_z^{-2}] = 0,5[1 + 0,49(2,36 - 0,2) + 2,36^2] = 3,81$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^{-2}}} = \frac{1}{3,81 + \sqrt{3,81^2 - 2,36^2}} = 0,15$$

$$\psi = 0$$

$$C_{my} = C_{mz} = C_{mLT} = 0,6$$

součinitelé interakce

$$k_{yy} = 0,62, k_{yz} = 0,50, k_{zy} = 0,37, k_{zz} = 0,83$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{14,98}{0,37 \cdot 1064,55/1} + 0,62 \frac{36,38}{0,74 \cdot 76,38/1} + 0,50 \frac{8,47}{36,82/1} \leq 1$$

$$0,56 \leq 1 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_Z N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1$$

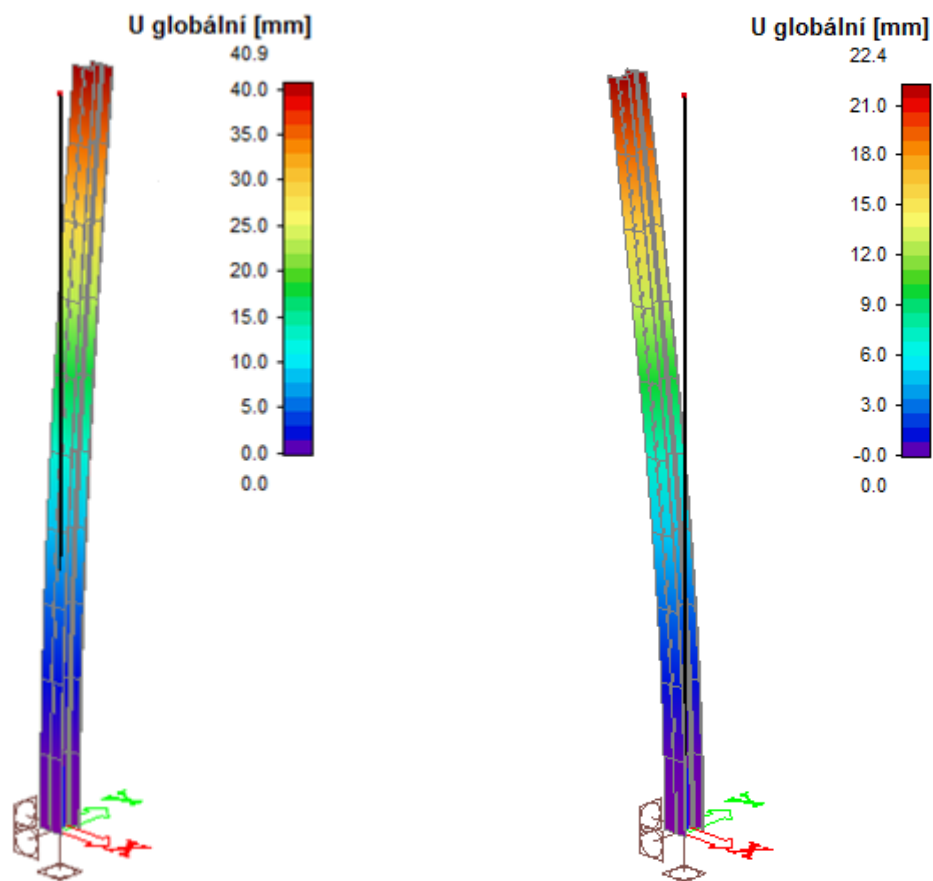
$$\frac{14,98}{0,15 \cdot 1064,55/1} + 0,37 \frac{36,38}{0,74 \cdot 76,38/1} + 0,83 \frac{8,47}{36,82/1} \leq 1$$

$$0,52 \leq 1 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení sloupu na MSP

Přetvoření od CHAR. proměnné - provozní

Přetvoření od CHAR. proměnné - porucha



$$\delta_{max} = \frac{H}{100} = \frac{5000}{100} = 50\text{mm} \geq \delta_1 = 40,9\text{mm} \wedge \delta_2 = 22,4\text{mm} \text{ VYHOVUJE}$$

4.2.7 Návrh a posouzení kotvení

Výpočet proveden na základě výrobce^[14]

Detaily návrhu

Kotva

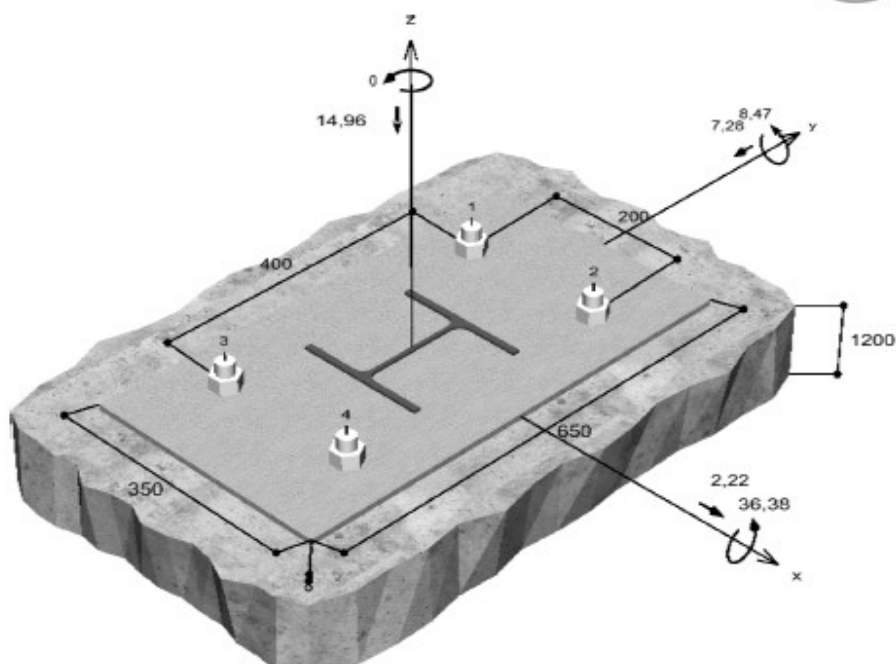
Systém	fischer Svorníková kotva FAZ II
Kotva	Svorníková kotva FAZ II 24/30 A4, Korozivzdorná ocel, pevnostní třída A4-70
Kotevní hloubka	125 mm
Design data	Návrh kotev dle Beton Evropský technický posudek ETA-05/0069, Option 1, Datum vydání 5.8.2016



Geometrie / Zatížení

mm, kN, kNm

Hodnoty návrhového zatížení (včetně součinitele bezpečnosti pro zatížení)



Vstupní data

Návrhová metoda	Návrhová metoda ETA - Mechanické kotvy
Kotevní podklad	Prostý beton nebo železobeton, C20/25, EN 206
Vlastnosti betonu	Tlačený beton, Suchý otvor
Výztuž	Běžná nebo žádná výztuž. Bez výztuže
Metoda vrtání	Přiklepové vrtání
Typ montáže	Průvlečná montáž
Prstencová mezera	Prstencová mezera bez výplně
Druh zatížení	Statické
Distance	Bez ohybu
Tvar kotevní desky	350 mm x 650 mm x 8 mm
Typ profilu	HEA 180

Návrhová zatížení *)

#	N _{sd} kN	V _{sd,x} kN	V _{sd,y} kN	M _{sd,x} kNm	M _{sd,y} kNm	M _{τ,sd} kNm	Druh zatížení
1	-14,96	2,22	-7,28	36,38	-8,47	0,00	Statické

*) Požadovaný součinitel bezpečnosti pro zatížení je vzat do úvahy

Výsledné síly kotev

Kotva č.	Tahová síla kN	Smyková síla kN	Smyková síla x kN	Smyková síla y kN
1	29,26	1,90	0,56	-1,82
2	38,05	1,90	0,56	-1,82
3	0,00	1,90	0,56	-1,82
4	5,54	1,90	0,56	-1,82



Výsledné tahové síly :

72,86 kN , Poloha X/Y (20 / 170)

Výsledné tlakové síly :

87,82 kN , Poloha X/Y (-80 / -274)

Únosnost kombinace tahu a smyku.

$\beta_N = \beta_{N,el} = 1,00 \leq 1$		Zkouška úspěšná	Rovnice (5.8a)
$\beta_V = \beta_{V,el} = 0,02 \leq 1$			Rovnice (5.8b)
$\frac{\beta_N + \beta_V}{1,2} = \frac{\beta_{N,el} + \beta_{V,el}}{1,2} = 0,85 \leq 1$			Rovnice (5.8c)

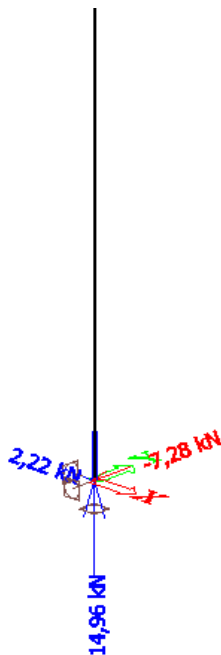
4.2.8 Návrh a posouzení základové patky

Posouzení podle ČSN 1992-1-1, předpoklad 1. GK

Patka navržena z prostého betonu C20/25. Návrhová pevnost základové půdy je $R_d = 220 \text{ kPa}$

Reakce v podpoře

Silové reakce



$$V_{Ed} = 14,96 \text{ kN}$$

$$H_x = 2,22 \text{ kN}$$

$$H_y = 7,28 \text{ kN}$$

$$M_x = 36,38 \text{ kNm}$$

$$M_y = 8,47 \text{ kNm}$$

Materiál: beton C20/25

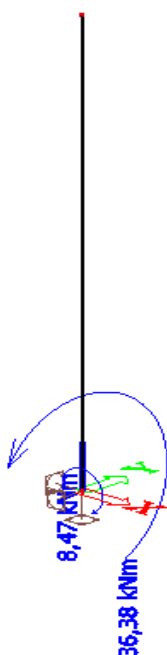
$$\text{součinitel} \quad \alpha_{ct} = 0,8$$

$$\text{pevnost v tahu} \quad f_{ctk,0,05} = 1,5 \text{ MPa}$$

$$\text{mat. součinitel} \quad \gamma_c = 1,5$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{0,8 \cdot 1,5}{1,5} = 0,8 \text{ MPa}$$

Momentové reakce



předpoklad únosnosti

$$\text{zeminy} \quad R_d = 220 \text{ kPa}$$

$$\text{rozměry zatěžovací plochy} \quad c_x = 0,65 \text{ m}$$

$$\text{patky} \quad c_y = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{rozměry patky} \quad L_x = 1,1 \text{ m}$$

$$L_y = 1,65 \text{ m}$$

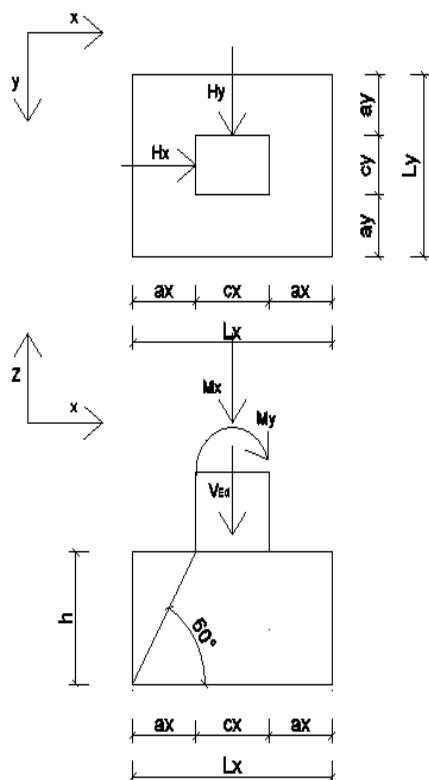
$$\text{vzdálenost sloupu} \quad a_x = 0,375 \text{ m}$$

$$\text{k okrajům patky} \quad a_y = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{výška patky} \quad h = 0,9 \text{ m}$$

tíha patky

$$G_p = L_x L_y h \gamma_{\text{beton}} \gamma_G = 1,1 \cdot 1,65 \cdot 0,9 \cdot 25 \cdot 1,35 = 55,13 \text{ kN}$$



výstřednost patky

$$e_x = \frac{M_y + H_x h}{V_{Ed} + G_p} = \frac{8,47 + 2,22 \cdot 0,9}{14,96 + 55,13} = 0,149 \text{ m}$$

$$e_y = \frac{M_x + H_y h}{V_{Ed} + G_p} = \frac{36,38 + 7,28 \cdot 0,9}{14,96 + 55,13} = 0,613 \text{ m}$$

efektivní plocha

$$A_{eff} = (L_x - 2e_x)(L_y - 2e_y) =$$

$$= (1,1 - 2 \cdot 0,375)(1,65 - 2 \cdot 0,5) = 0,34 \text{ m}^2$$

napětí působící v základové spáře

$$\sigma_d = \frac{V_{Ed} + G_p}{A_{eff}} = \frac{14,96 + 55,13}{0,34} = 206,15 \text{ kPa}$$

$$\sigma_d = 206,15 \text{ kPa} \leq R_d = 220 \text{ kPa}$$

VYHOVUJE

posouzení betonové patky podle podmínky:

$$\frac{0,85 \cdot h}{a} > \sqrt{\frac{3\sigma_d}{f_{ctd}}}$$

$$\frac{0,85 \cdot h}{a_x} = \frac{0,85 \cdot 0,9}{0,375} = 2,04 > \sqrt{\frac{3\sigma_d}{f_{ctd}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 206,15}{800}} = 0,88$$

VYHOVUJE

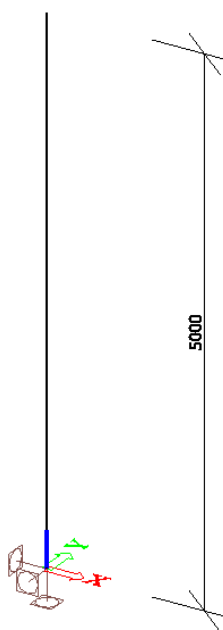
$$\frac{0,85 \cdot h}{a_y} = \frac{0,85 \cdot 0,9}{0,5} = 1,53 > \sqrt{\frac{3\sigma_d}{f_{ctd}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 206,15}{800}} = 0,9$$

VYHOVUJE

4.3 Návrh nosné konstrukce horkovodu alternativní metodou vzájemné interakce s potrubím

Nosná konstrukce horkovodního potrubí navržena na základě postupu z kapitoly 3.2.7.

4.3.1 Statické schéma a navrhnuté prvky



Obr. 4.5: Statické schéma nosné konstrukce, vliv spolupůsobení interakce

Tabulka 4.6: Navržené průřezy nosné konstrukce, vzájemná interakce

Jméno	Typ	Materiál	Výroba
	Detailní		
Sloup	HEA160	S 235	válcovaný

4.3.2 Podmínky návrhu

Zadání základních parametrů

Vliv teploty teplotonosná větev: $\alpha_T \Delta T = 1,250e^{-5} \cdot 95 = 1,188e^{-3}$

Třecí síla: $F_t = m_p \cdot \mu \cdot g = (F_w + F_g) \cdot \mu = (4,40 + 3,68) \cdot 0,6 = 4,85 \text{ kN}$

Průřezové charakteristiky: $A_s = 3,880e^{-3} \text{ m}^2$, $I_s = 1,6700e^{-5} \text{ m}^4$

Výška nosné k-ce: $H = 5 \text{ m}$

Délka dilatačního celku: $L = 48 \text{ m}$

Modul pružnosti: $E = 210 \text{ GPa}$

Podmínka štíhlosti vztah 3.16, řešení pro teplotonosnou větev, kde je větší předpoklad

$$\lambda > \sqrt{\frac{6\alpha_T \Delta T L E A_s}{H m_p \cdot \mu \cdot g}} = \sqrt{\frac{6\alpha_T \Delta T L E A_s}{H F_t}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 1,188e^{-3} \cdot 48 \cdot 210e^9 \cdot 3,880e^{-3}}{5 \cdot 4,85}} = 107,22$$

$$\text{návrh štíhlosti podle navržení prvku HEA 160 } \lambda = \frac{L_{cr}}{\sqrt{\frac{I_s}{A_s}}} = \frac{2,5}{\sqrt{\frac{1,6700e^{-5}}{3,880e^{-3}}}} = 152,43$$

$$\lambda = 152,43 > 107,22 \wedge \lambda \in < 60; 200 > \text{ **VYHOVUJE**}$$

Reakce vodorovné síly:

$$R = \frac{\alpha_T \Delta T L}{\frac{H \lambda^2}{6 E A_s}} = \frac{1,140e^{-3} \cdot 48}{\frac{5 \cdot 152,43^2}{6 \cdot 210e^9 \cdot 3,880e^{-3}}} = 2,30 \text{ kN}$$

$$F_t > R$$

$$F_t = 4,85 \text{ kN} > R = 2,30 \text{ kN} \text{ **VYHOVUJE**}$$

Deformační podmínka:

$$\alpha_T \Delta T \leq \frac{L_{cr}}{xL}$$

$$1,140e^{-3} \cdot 10 \leq \frac{2,5}{48}$$

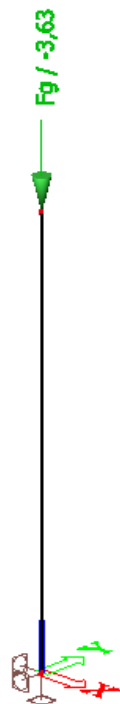
$$0,011 \leq 0,208 \text{ **VYHOVUJE**}$$

Nyní získáváme předpoklad bezpečného návrhu nosné konstrukce.

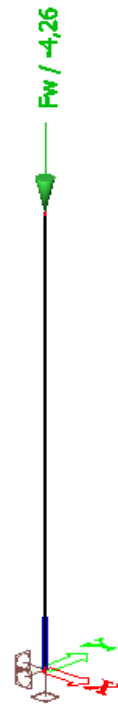
4.3.3 Zatěžovací stavy

Vlastní tíha – automaticky vygenerována softwarem Scia Engineer.

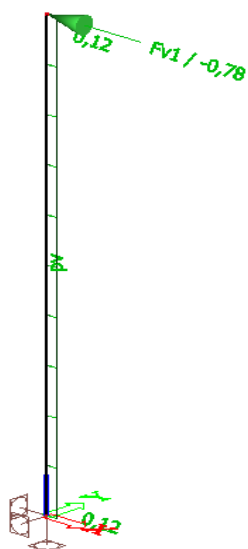
Stálé zatížení od potrubí (kN)



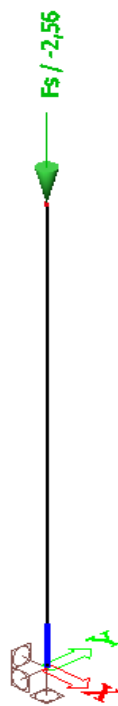
Užitné zatížení vodou (kN)



Nahodilé zatížení větrem (kN; kN/m)



Nahodilé zatížení sněhem (kN)



Užitné zatížení od teplotní dilatace potrubí (kN)



Tabulka 4.7: Charakteristiky zatěžovacích stavů, vzájemná interakce

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Směr	Působení	Řídící zat. stav
	Spec	Typ zatížení				
vlastní tíha		Stálé Vlastní tíha	stálé	-Z		
potrubí		Stálé Standard	stálé			
voda	Standard	Proměnné Statické	voda		Dlouhodobé	Žádný
vítr	Standard	Proměnné Statické	vítr		Krátkodobé	Žádný
sníh	Standard	Proměnné Statické	sníh		Krátkodobé	Žádný
dilatace	Standard	Proměnné Statické	dilatace		Dlouhodobé	Žádný

4.3.4 Skupiny zatížení

Tabulka 4.8: Charakteristiky skupin zatížení, vzájemná interakce

Jméno	Zatížení	Vztah	Typ
stálé	Stálé		
voda	Proměnné	Standard	Voda
vítr	Proměnné	Standard	Vítr
sníh	Proměnné	Výběrová	Sníh
dilatace	Proměnné	Standard	Teplota

4.3.5 Kombinace zatěžovacích stavů

Tabulka 4.9: Kombinace zatěžovacích stavů, vzájemná interakce

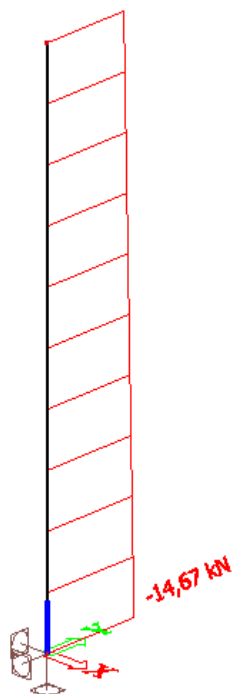
Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
MSÚ1	provozní	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	vlastní tíha	1,00
			potrubí	1,00
			voda	1,00
			vítr	1,00
			dilatace	1,00
MSÚ	porucha	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	vlastní tíha	1,00
			potrubí	1,00
			voda	1,00
			vítr	1,00
			sníh	1,00
CHAR	stálé	EN-MSP charakteristická	vlastní tíha	1,00
			potrubí	1,00
CHAR1	proměnné - provozní	EN-MSP charakteristická	voda	1,00
			vítr	1,00
			dilatace	1,00
CHAR2	proměnné - porucha	EN-MSP charakteristická	voda	1,00
			vítr	1,00
			sníh	1,00

Bezpečností součinitele pro zatěžovací stavy na základě zadaných kombinací generuje Scia Engineer automaticky podle ČSN EN 1990.

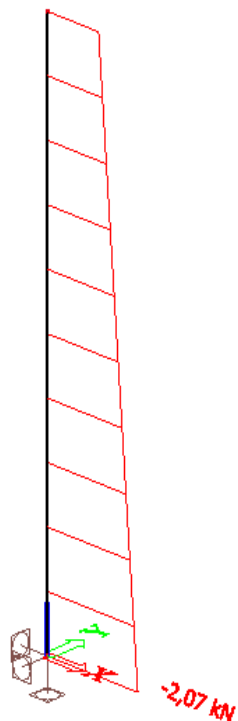
4.3.6 Vykreslení průběhů vnitřních sil

Generování vnitřních sil pomocí obálek

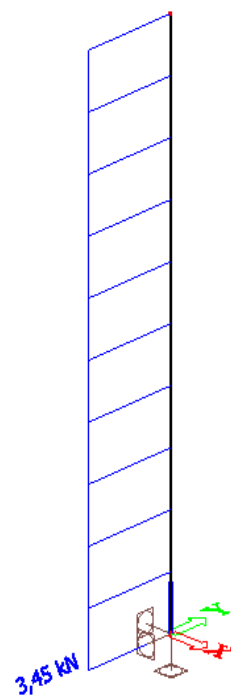
Normálová síla N



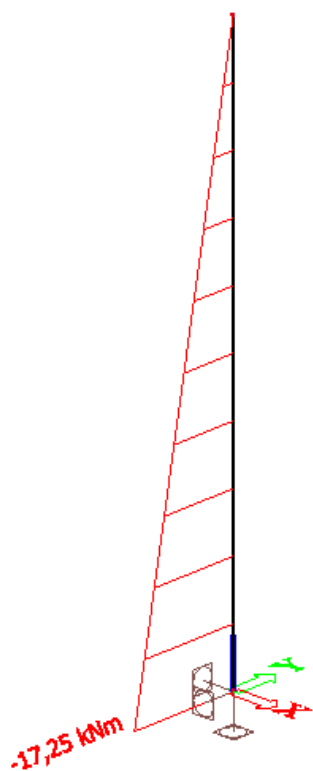
Posouvající síla V_y



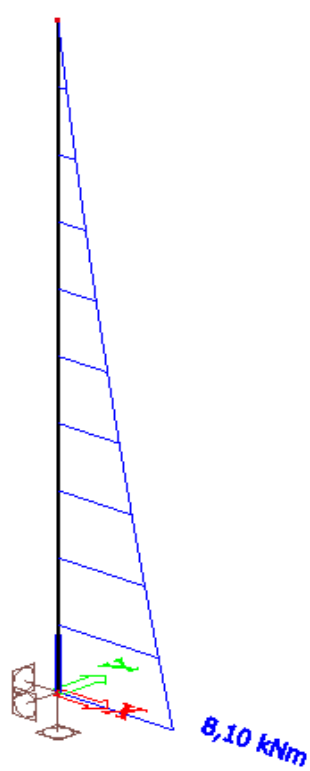
Posouvající síla V_z



Ohybový moment M_y



Ohybový moment M_z



4.3.7 Posouzení sloupu

Posouzení podle ČSN 1993-1-1

Vnitřní síly na sloupu

$$N_{Ed} = -14,67 \quad \text{kN}$$

$$V_{y,Ed} = -2,07 \quad \text{kN}$$

$$V_{z,Ed} = 3,45 \quad \text{kN}$$

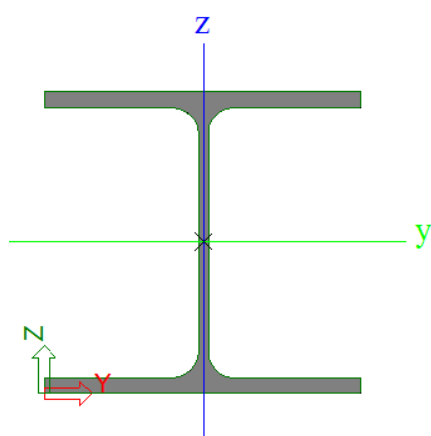
$$M_{y,Ed} = -17,25 \quad \text{kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 8,10 \quad \text{kNm}$$

třída průřezu		
pásnice	$c = 77 \text{ mm}$ $t = 9 \text{ mm}$ $\frac{c}{t} = \frac{77}{9} = 8,56 \leq 9\varepsilon = 9$	tř. 1
stojina	$c = 152 \text{ mm}$ $h_w = 6 \text{ mm}$ $\frac{c}{h_w} = \frac{134}{6} = 22,33 \leq 72\varepsilon = 72$	tř. 1

průřez brán jako **třída 1**

Průřezové charakteristiky sloupu



průřezový modul	$W_{Pl,y} = 2,4500e^{-4} \quad \text{m}^3$
	$W_{Pl,z} = 1,1750e^{-4} \quad \text{m}^3$
průřezová plocha	$A = 3,8800e^{-3} \quad \text{m}^2$
	$I_t = 1,2200e^{-7} \quad \text{m}^4$
výsečový mom. setrvačnosti	$I_w = 3,1410e^{-8} \quad \text{m}^6$
moment setrvačnosti	$I_z = 6,1600e^{-6} \quad \text{m}^4$
	$I_y = 1,6700e^{-5} \quad \text{m}^4$
smyková plocha	$A_y = 2,8071e^{-3} \quad \text{m}^2$
	$A_z = 9,8390e^{-4} \quad \text{m}^2$

Vliv smykového působení

$$V_{Pl,Rd,y} = \frac{A_y(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{2} \frac{2,8071e^{-3}(235 \cdot 10^3/\sqrt{3})}{1} = 190,42 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,Rd,y} = 222,32 \text{ kN} \geq V_{y,Ed} = 2,07 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,Rd,z} = \frac{A_z(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{2} \frac{9,8390e^{-4}(235 \cdot 10^3/\sqrt{3})}{1} = 66,75 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,Rd,z} = 66,75 \text{ kN} \geq V_{z,Ed} = 3,45 \text{ kN}$$

Smykové působení lze zanedbat

Posouzení sloupu na tlačení dvojsoý ohyb

součinitel vzpěrné délky $k_z = 1, k_w = 1$

bezrozměrný parametr kroucení $k_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1,25} \sqrt{\frac{210 \cdot 3,1410e^{-8}}{81 \cdot 1,2200e^{-7}}} = 0,26$

součinitel zohledňující tvar ohybového momentu $C_{1,0} = 1,77, C_{1,1} = 1,85$
 $C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0})k_{wt} = 1,77 + (1,85 - 1,77)0,26 = 1,79$

bezrozměrný kritický moment k hlavním osám z-z $\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + k_{wt}^2} = \frac{1,79}{1} \sqrt{1 + 0,26^2} = 1,85$

Pružný kritický moment při klopení

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 1,85 \frac{\pi \sqrt{210 \cdot e^6 \cdot 6,1600e^{-6} 81e^6 \cdot 1,2200e^{-7}}}{2,5} = 65,71 \text{ kNm}$$

poměrná štíhlost $\lambda_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,4500e^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3}{65,71}} = 0,94$

součinitel imperfekce klopení

pro křivku klopení b $\alpha_{LT} = 0,34$

$$\beta = 0,75$$

$$\lambda_{LT,0}^- = 0,4$$

$$\phi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT}^- - \lambda_{LT,0}^-) + \beta\lambda_{LT}^{-2}] = 0,5[1 + 0,34(0,94 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,94^2] = 0,92$$

součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta\lambda_{LT}^{-2}}} = \frac{1}{0,92 + \sqrt{0,92^2 - 0,75 \cdot 0,94^2}} = 0,74$$

$$N_{R,k} = A \cdot f_y = 3,8800e^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 = 911,80 \text{ kN}$$

$$M_{y,R,k} = W_{y,pl} \cdot f_y = 2,4500e^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 = 57,58 \text{ kNm}$$

$$M_{z,R,k} = W_{z,pl} \cdot f_y = 1,1750e^{-4} \cdot 235 \cdot 10^3 = 27,61 \text{ kNm}$$

vzpěr kolmo k y-y

$$\lambda_y = L_{cr,y-y} \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 10 \sqrt{\frac{3,8800e^{-3}}{1,6700e^{-5}}} = 152,43$$

$$\lambda_y^- = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{\lambda_y}{93,9\epsilon} \frac{152,43}{93,9 \cdot 1} = 1,62$$

Křivka vzpěrnosti b

$$\alpha = 0,34$$

$$\phi_y = 0,5[1 + \alpha(\lambda_y^- - 0,2) + \lambda_y^{-2}] = 0,5[1 + 0,34(1,62 - 0,2) + 1,62^2] = 2,05$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^{-2}}} = \frac{1}{2,05 + \sqrt{2,05^2 - 1,62^2}} = 0,30$$

vzpěr kolmo k z-z

$$\lambda_z = L_{cr} \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 10 \sqrt{\frac{3,8800e^{-3}}{6,1600e^{-6}}} = 250,97$$

$$\lambda_z^- = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{\lambda_z}{93,9\epsilon} \frac{250,97}{93,9 \cdot 1} = 2,67$$

Křivka vzpěrnosti c

$$\alpha = 0,49$$

$$\phi_z = 0,5[1 + \alpha(\lambda_z^- - 0,2) + \lambda_z^{-2}] = 0,5[1 + 0,49(2,67 - 0,2) + 2,67^2] = 4,67$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^{-2}}} = \frac{1}{4,67 + \sqrt{4,67^2 - 2,67^2}} = 0,12$$

$$\psi = 0$$

$$C_{my} = C_{mz} = C_{mLT} = 0,6$$

součinitelé interakce

$$k_{yy} = 0,65, k_{yz} = 0,43, k_{zy} = 0,39, k_{zz} = 0,98$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{14,67}{0,30.911,80/1} + 0,65 \frac{17,25}{0,74.57,58/1} + 0,43 \frac{8,10}{27,61/1} \leq 1$$

0,59 ≤ 1 => **VYHOVUJE**

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1$$

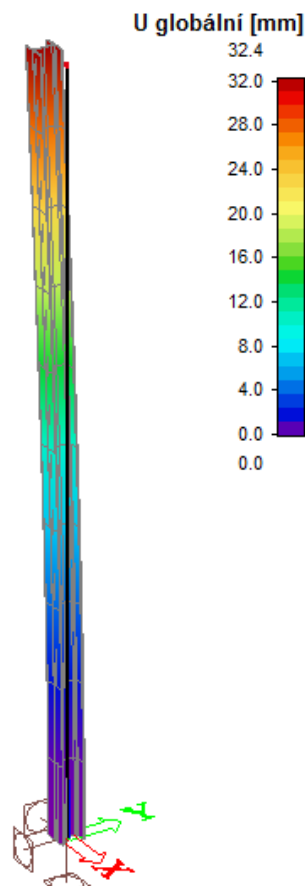
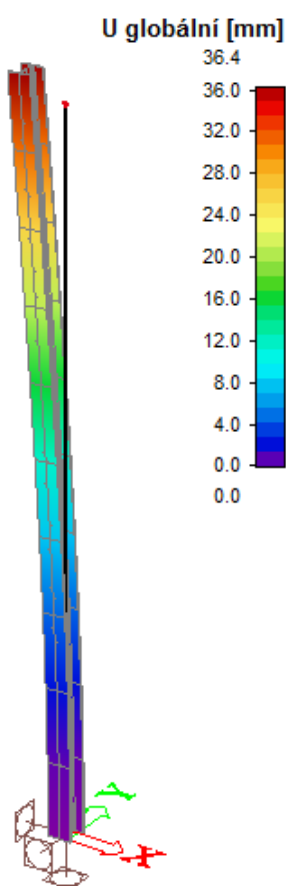
$$\frac{14,67}{0,12.911,80/1} + 0,39 \frac{17,25}{0,74.57,58/1} + 0,98 \frac{8,10}{27,61/1} \leq 1$$

0,58 ≤ 1 => **VYHOVUJE**

Posouzení sloupu na MSP

Přetvoření od CHAR. proměnné - provozní

Přetvoření od CHAR. proměnné - porucha



$$\delta_{max} = \frac{H}{100} = \frac{5000}{100} = 50\text{mm} \geq \delta_1 = 36,4\text{mm} \wedge \delta_2 = 32,4\text{mm} \text{ **VYHOVUJE**}$$

4.3.8 Návrh a posouzení kotvení

Výpočet proveden na základě výrobce^[14]

Detaily návrhu

Kotva

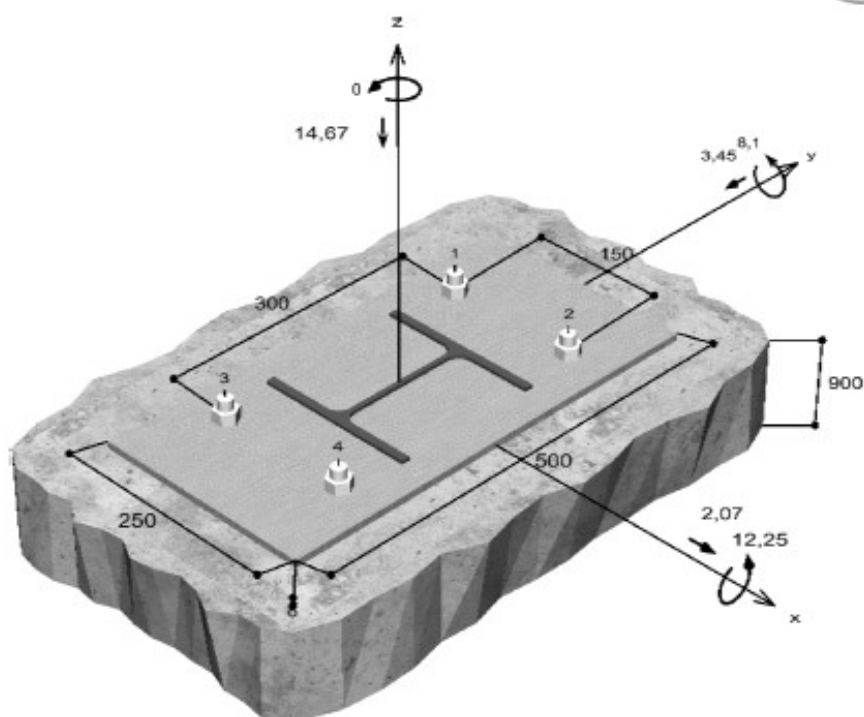
Systém	fischer Svorníková kotva FAZ II
Kotva	Svorníková kotva FAZ II 16/25 A4, Korozivzdorná ocel, pevnostní třída A4-70
Kotevní hloubka	85 mm
Design data	Návrh kotev dle Beton Evropský technický posudek ETA-05/0069, Option 1, Datum vydání 5.8.2016



Geometrie / Zatížení

mm, kN, kNm

Hodnoty návrhového zatížení (včetně součinitele bezpečnosti pro zatížení)



Vstupní data

Návrhová metoda	Návrhová metoda ETA - Mechanické kotvy
Kotevní podklad	Prostý beton nebo železobeton, C20/25, EN 206
Vlastnosti betonu	Tlačený beton, Suchý otvor
Výztuž	Běžná nebo žádná výztuž. Bez výztuže
Metoda vrtání	Přiklepové vrtání
Typ montáže	Průvlečná montáž
Prstencová mezera	Prstencová mezera bez výplně
Druh zatížení	Statické
Distance	Bez ohybu
Tvar kotevní desky	250 mm x 500 mm x 8 mm
Typ profilu	HEA 180

Návrhová zatížení *)

#	N _{sd} kN	V _{sd,x} kN	V _{sd,y} kN	M _{sd,x} kNm	M _{sd,y} kNm	M _{T,sd} kNm	Druh zatížení
1	-14,67	2,07	-3,45	12,25	-8,10	0,00	Statické

*) Požadovaný součinitel bezpečnosti pro zatížení je vzat do úvahy

Výsledné síly kotev

Kotva č.	Tahová síla kN	Smyková síla kN	Smyková síla x kN	Smyková síla y kN
1	7,25	1,01	0,52	-0,86
2	23,41	1,01	0,52	-0,86
3	0,00	1,01	0,52	-0,86
4	13,70	1,01	0,52	-0,86



Výsledné tahové síly : 44,36 kN , Poloha X/Y (50 / 57)
Výsledné tlakové síly : 59,03 kN , Poloha X/Y (-99 / -164)

Únosnost kombinace tahu a smyku.

$\beta_N = \beta_{N,cl} = 0,96 \leq 1$		Zkouška úspěšná	Rovnice (5.8a)
$\beta_V = \beta_{V,cl} = 0,02 \leq 1$			Rovnice (5.8b)
$\frac{\beta_N + \beta_V}{1,2} = \frac{\beta_{N,cl} + \beta_{V,cl}}{1,2} = 0,82 \leq 1$			Rovnice (5.8c)

4.3.1 Návrh a posouzení základové patky

Posouzení podle ČSN 1992-1-1, předpoklad 1. GK

Patka navržena z prostého betonu C20/25. Návrhová pevnost základové půdy je $R_d = 220$ kPa

Silové reakce



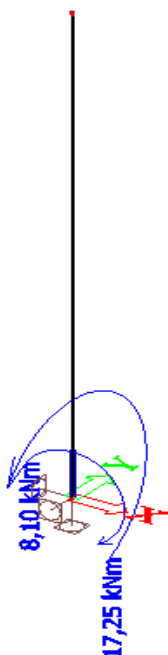
Reakce v podpoře

$V_{Ed} =$	14,67	kN
$H_x =$	2,07	kN
$H_y =$	3,45	kN
$M_x =$	17,25	kNm
$M_y =$	8,10	kNm

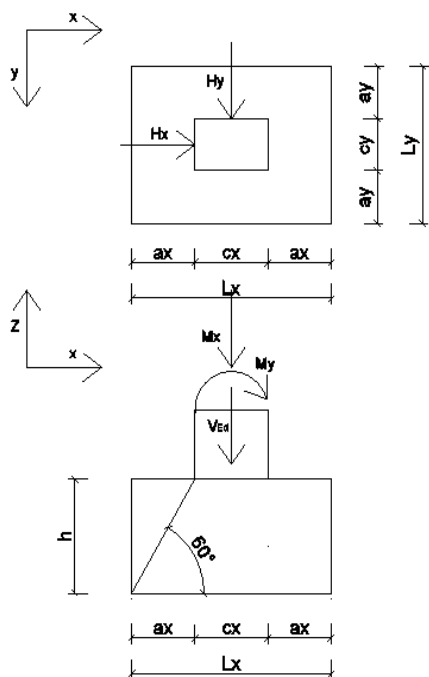
Materiál: beton C20/25

součinitel	$\alpha_{ct} = 0,8$
pevnost v tahu	$f_{ctk,0,05} = 1,5$ MPa
mat. součinitel	$\gamma_c = 1,5$
$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{0,8 \cdot 1,5}{1,5} = 0,8$ MPa	

Momentové reakce



předpoklad únosnosti	
zeminy	$R_d = 220$ kPa
rozměry zatěžovacích	$c_x = 0,25$ m
plochy patky	$c_y = 0,5$ m
rozměry patky	$L_x = 0,85$ m
	$L_y = 1,25$ m
vzdálenost sloupu	$a_x = 0,3$ m
k okrajům patky	$a_y = 0,375$ m
výška patky	$h = 0,7$ m
tíha patky	$G_p = L_x L_y h \gamma_{beton} \gamma_G = 0,85 \cdot 1,25 \cdot 0,7 \cdot 25 \cdot 1,35 = 25,10$ kN



výstřednost patky

$$e_x = \frac{M_y + H_x h}{V_{Ed} + G_p} = \frac{8,10 + 2,07 \cdot 0,7}{14,67 + 25,10} = 0,24 \text{ m}$$

$$e_y = \frac{M_x + H_y h}{V_{Ed} + G_p} = \frac{17,25 + 3,45 \cdot 0,7}{14,67 + 25,10} = 0,369 \text{ m}$$

efektivní plocha

$$A_{eff} = (L_x - 2e_x)(L_y - 2e_y) = \\ = (0,85 - 2 \cdot 0,24)(1,25 - 2 \cdot 0,369) = 0,189 \text{ m}^2$$

napětí působící v základové spáře

$$\sigma_d = \frac{V_{Ed} + G_p}{A_{eff}} = \frac{14,67 + 25,10}{0,241} = 210,43 \text{ kPa}$$

$$\sigma_d = 210,43 \text{ kPa} \leq R_d = 220 \text{ kPa}$$

VYHOVUJE

posouzení betonové patky podle podmínky:

$$\frac{0,85 \cdot h}{a} > \sqrt{\frac{3\sigma_d}{f_{ctd}}}$$

$$\frac{0,85 \cdot h}{a_x} = \frac{0,85 \cdot 0,7}{0,3} = 1,98 > \sqrt{\frac{3\sigma_d}{f_{ctd}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 210,43}{800}} = 0,89$$

VYHOVUJE

$$\frac{0,85 \cdot h}{a_y} = \frac{0,85 \cdot 0,7}{0,375} = 1,58 > \sqrt{\frac{3\sigma_d}{f_{ctd}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 210,43}{800}} = 0,89$$

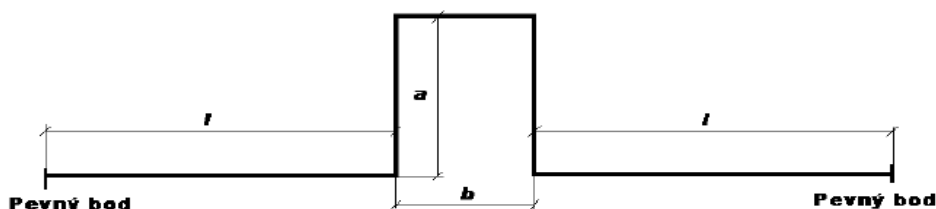
VYHOVUJE

4.4 Návrh 3D komplexního modelu potrubního systému s předpokladem interakce

Ve Scia Engineer byl vytvořen kompletní model, který by měl charakterizovat veškerou problematiku reálné konstrukce. Účelem tohoto modelu je porovnat hodnoty výsledků (vnitřní síly, reakce), zda spolu s předchozím návrhem interakce tvoří mezi sebou souvislost a na kolik se od sebe vzájemně odlišují.

4.4.1 Tuhost kompenzátoru

Do modelu systému potrubí je potřeba zařadit vodorovnou tuhost kompenzátoru. Vhodné fungování dilatačních úseků zajistí U- kompenzátor, jehož návrh rozměrů obr. 4.6 je odvozen podle ^[3]



Obr. 4.6: Rozměry dilatačních ramen podle výrobce ^[3]

předpokládané délky jednotlivých
úseků od pevných bodů

$$L = \frac{56}{2} = 28 \text{ m}$$

očekávané prodloužení potrubí od
teploty

$$\Delta L = \alpha_T \Delta T L = 1,25e^{-2} 95.28 = 33,25 \text{ mm} \\ \cong 34 \text{ mm}$$

hodnota meze kluzu za teploty 100°C

$$f_h = 198 \text{ MPa}$$

součinitel pevnosti svaru

$$z = 1$$

ohybový moment nutný k deformaci
kompenzátoru

$$M = \frac{6EI_P \Delta L}{a^2}$$

maximální možný moment daný

dovoleným napětím při ohybu trubky

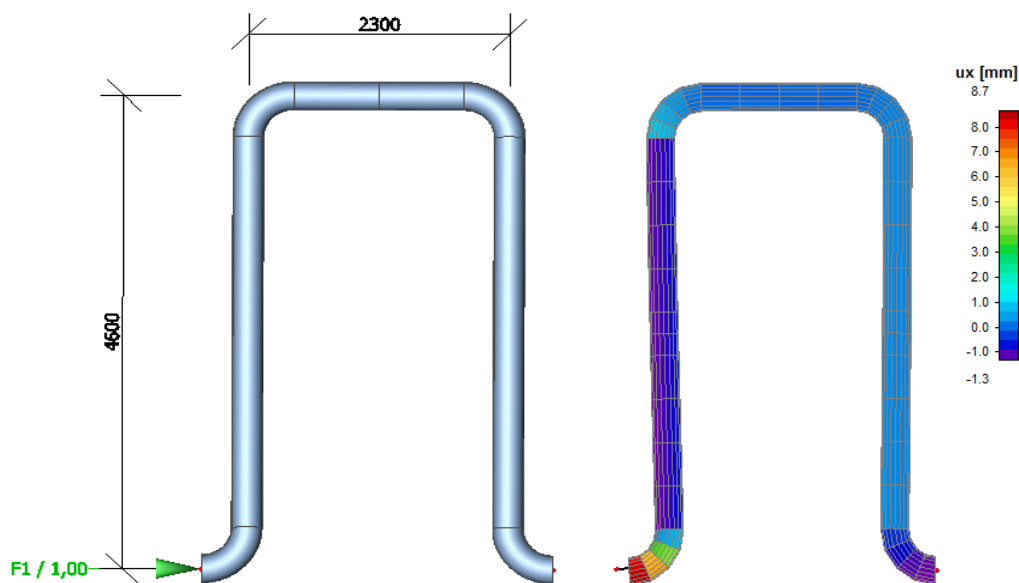
$$M = W_P f_h z$$

vyložení kompenzátoru vyjádřené
z rovnosti obou momentů

$$a = \sqrt{\frac{6EI_P \Delta L}{W_P f_h z}} = \sqrt{\frac{6.210e^3 3,7808e^{-5} 0,034}{3,5916e^{-4} 198.1}} = 4,6 \text{ m}$$

$$b = \frac{a}{2} = \frac{4,6}{2} = 2,3 \text{ m}$$

Navrženou konstrukci kompenzátoru zatížíme jednotkovou silou v místě zjišťované tuhosti. Na základě vzniklé deformace lze získat vodorovnou tuhost. Software rozumí jednotkové síle jako 1 kN.



Obr. 4.7: Konstrukce kompenzátoru zatížena jednotkovou silou a s příslušnou deformací

vodorovná deformace od jednotkové

síly

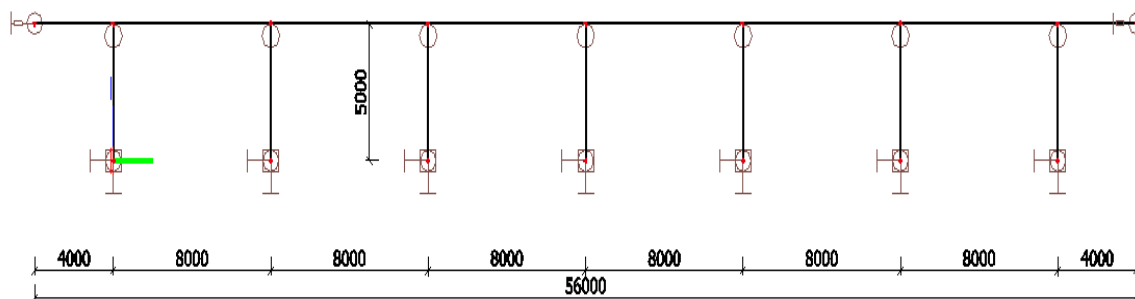
$$u_x = 8,7 \text{ mm}$$

vodorovná tuhost kompenzátoru

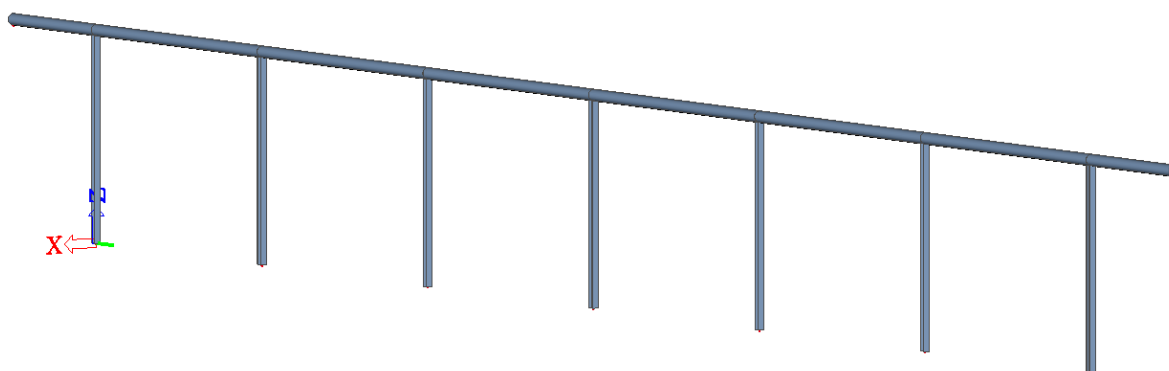
$$K = \frac{F}{u_x} = \frac{1}{8,7} = 0,12 \text{ MNm}^{-1}$$

Vodorovnou tuhost k lze zařadit do modelu. Nyní nastává otázka, jak ovlivňuje tato veličina výsledné hodnoty působící na nosnou konstrukci. Díky přiřazení vodorovné tuhosti je možné odhadnout přesněji tlakové působení v potrubí.

4.4.2 Statické schéma navrhnuté prvky



Obr. 4.8: Statické schéma potrubního systému s předpokladem interakce nosné konstrukce s potrubím



Obr. 4.9: Model potrubního systému s předpokladem interakce nosné konstrukce s potrubím

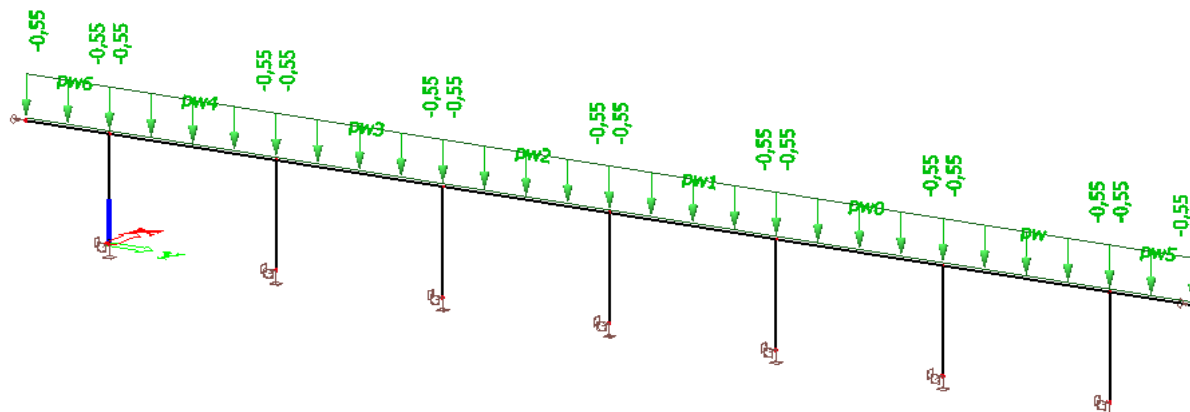
Tabulka 4.10: Navržené průřezy nosné konstrukce, vzájemná interakce

Jméno	Typ	Materiál	Výroba
	Detailní		
Sloup	HEA160	S 235	válcovaný
Trubka	Trubka 273; 5	S 235	obecný

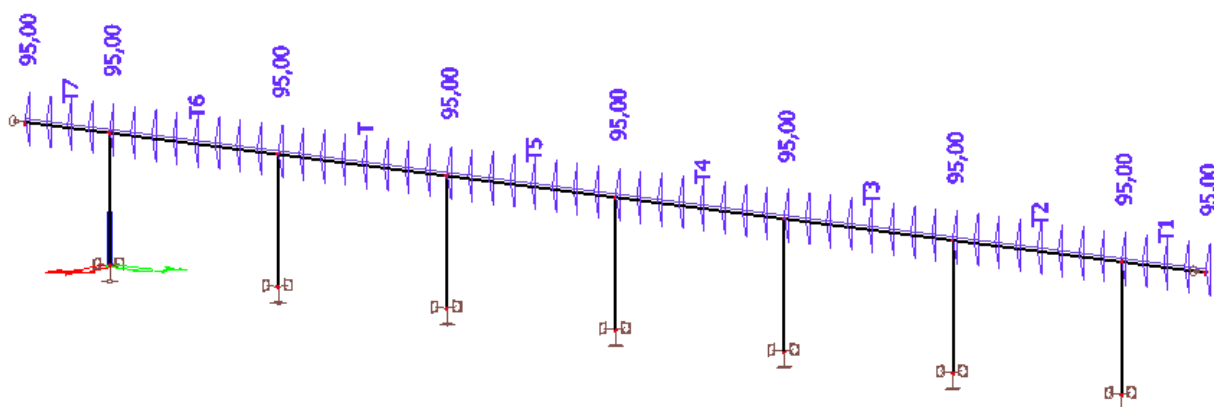
4.4.3 Zatěžovací stavy

Vlastní tíha – automaticky vygenerována softwarem Scia Engineer.

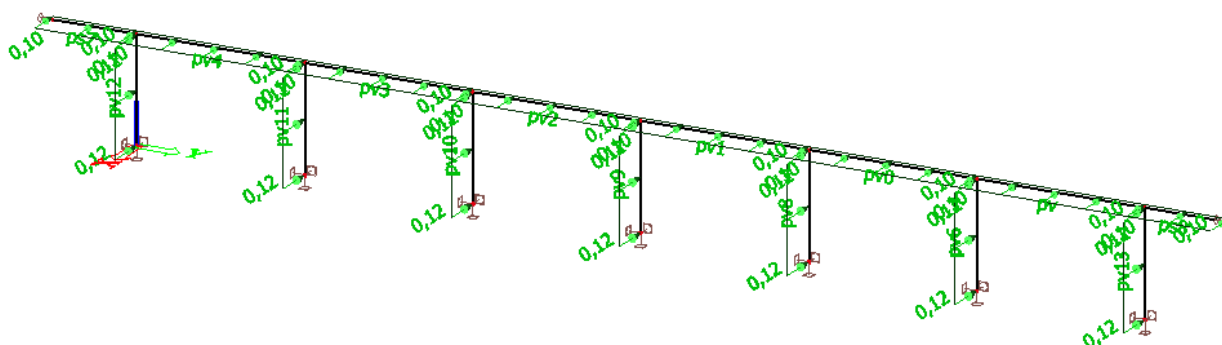
Užitné zatížení vodou (kNm^{-1})



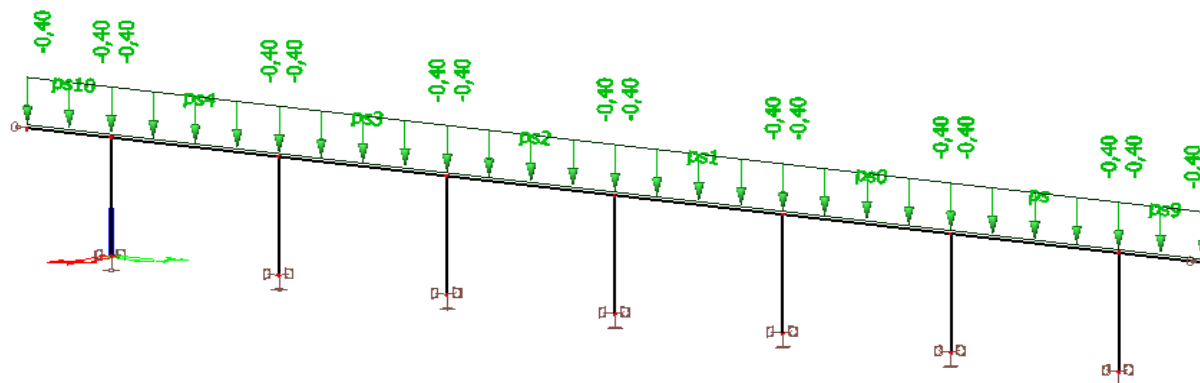
Užitné zatížení od teploty (ΔT)



Nahodilé zatížení větrem (kNm^{-1})



Nahodilé zatížení sněh (kNm⁻¹)



Tabulka 4.11: Charakteristiky zatěžovacích stavů, 3D model

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Směr	Působení	Rídicí zat. stav
	Spec	Typ zatížení				
vlastní tíha		Stálé Vlastní tíha	stálé	-Z		
voda	Standard	Proměnné Statické	voda		Dlouhodobé	Žádný
teplota	Teplota	Proměnné Statické	teplota			Žádný
vítr	Standard	Proměnné Statické	vítr		Krátkodobé	Žádný
sněh	Standard	Proměnné Statické	sněh		Krátkodobé	Žádný

4.4.4 Skupiny zatížení

Tabulka 4.12: Charakteristika skupin zatížení, 3D model

Jméno	Zatížení	Vztah	Typ
stálé	Stálé		
vítr	Proměnné	Výběrová	Vítr
voda	Proměnné	Standard	Voda
teplota	Proměnné	Standard	Teplota
sněh	Proměnné	Výběrová	Sněh

4.4.5 Kombinace zatěžovacích stavů

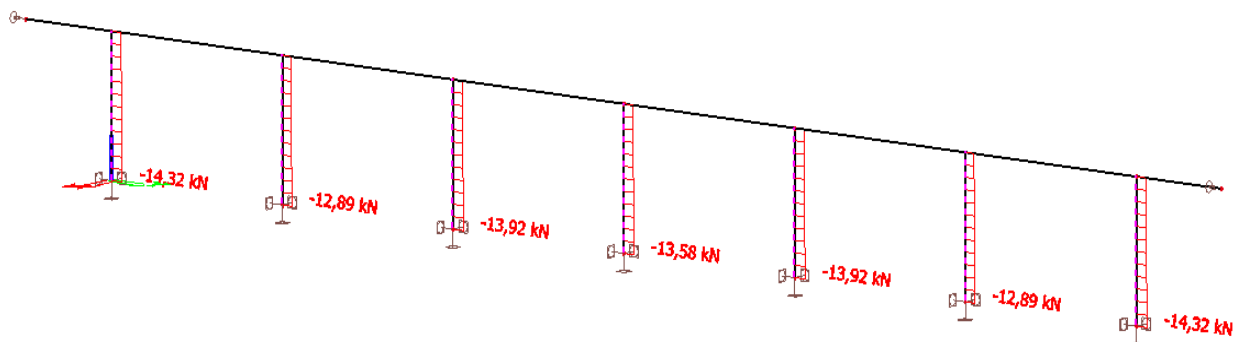
Tabulka 4.13: Charakteristika kombinací zatěžovacích stavů, 3D model

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
MSÚ	provozní	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	vlastní tíha	1,00
			voda	1,00
			teplota	1,00
			větr	1,00
MSÚ 1	porucha	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	vlastní tíha	1,00
			voda	1,00
			větr	1,00
			sněh	1,00
CHAR	stálé	EN-MSP charakteristická	vlastní tíha	1,00
CHAR1	proměnné - provozní	EN-MSP charakteristická	voda	1,00
			teplota	1,00
			větr	1,00
CHAR2	proměnné - porucha	EN-MSP charakteristická	voda	1,00
			větr	1,00
			sněh	1,00

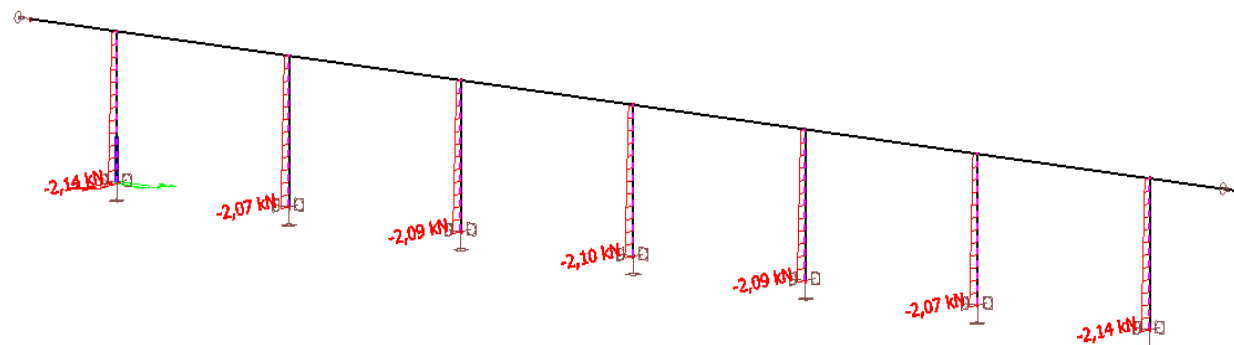
4.4.6 Vykreslení průběhů vnitřních sil působící na nosné konstrukce

Generování vnitřních sil pomocí obálek

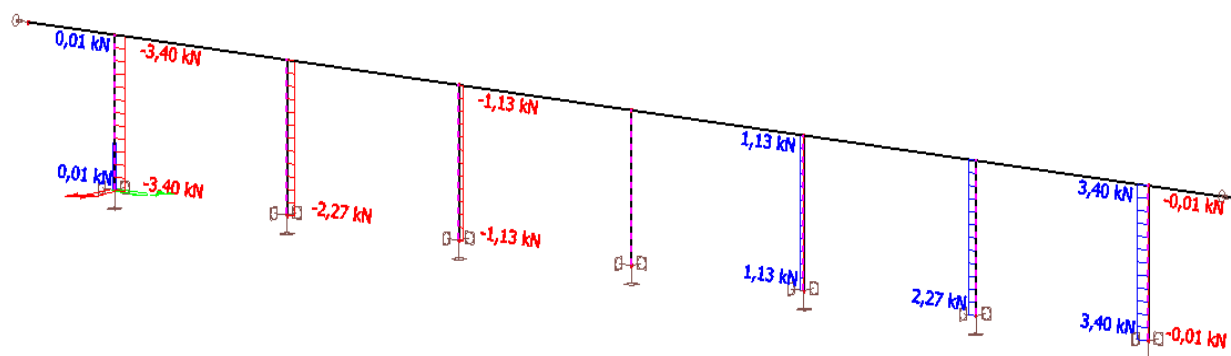
Normálové síly N



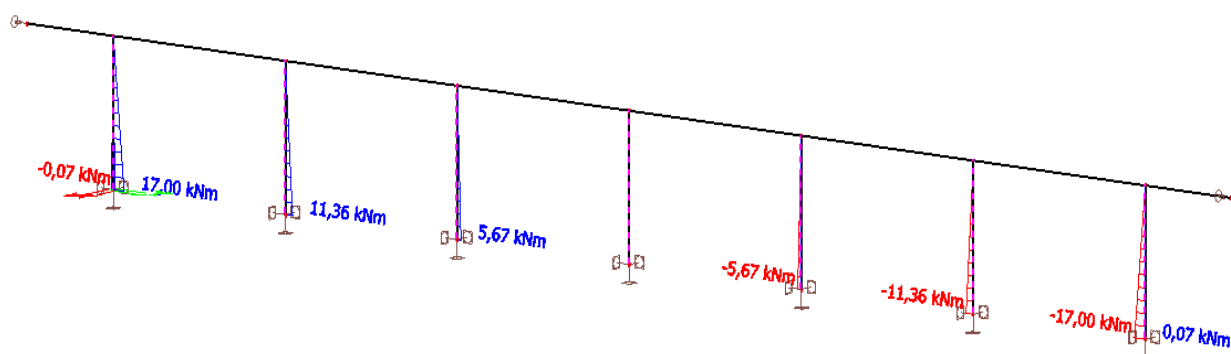
Posouvající síla V_y



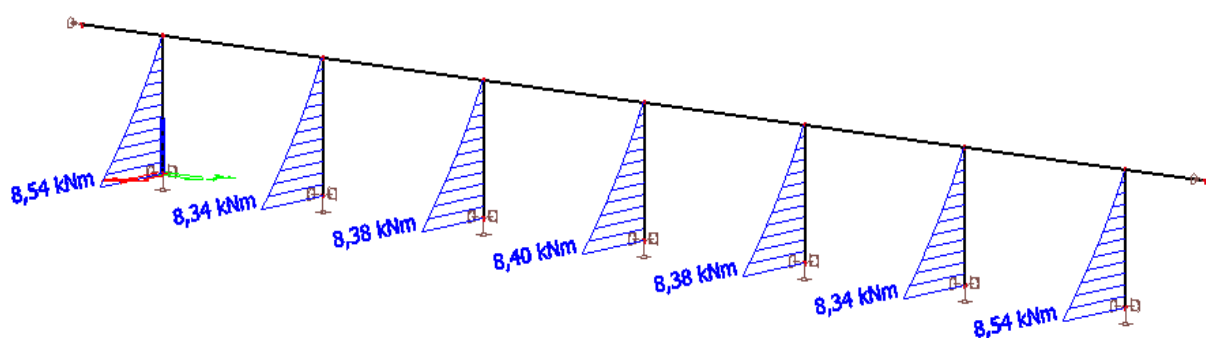
Posouvající síla V_z



Ohybový moment M_y



Ohybový moment M_z



Jednotlivé nosné konstrukce jsou namáhány na základě vykreslených vnitřních sil. Podle předpokladu lze pozorovat nejvíce namáhané prvky v krajních částech dilatačního pole. Nyní zbývá porovnat, nakolik se hodnoty vnitřních sil navzájem odlišují s předchozím řešením v kapitole 4.3 a 4.2.

4.5 Porovnání hodnot na nosných konstrukcích

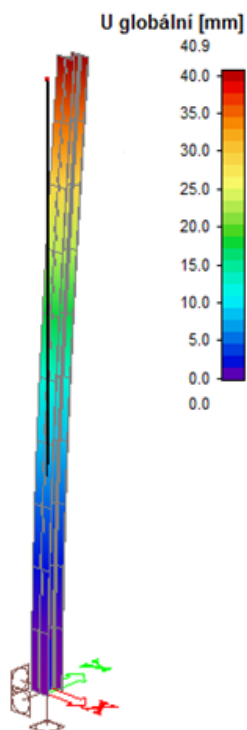
Porovnání hodnot vnitřních sil a deformací vzniklých na základě jednotlivých metod zjednodušené metody, alternativní metody 3D komplexního modelu. Z modelu byly vybrány nejvíce namáhány prvky z krajních částí.

Tabulka 4.14: Srovnání hodnot vnitřních sil působící na nosné konstrukce

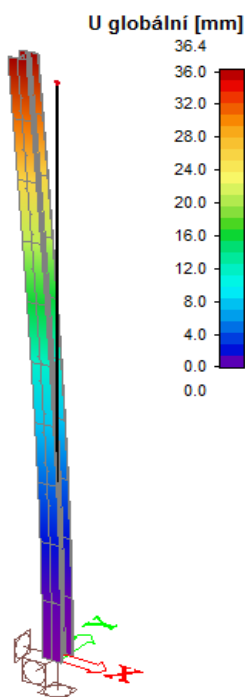
	VNITŘNÍ SÍLY				
	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
Zjednodušená metoda	-14,96	-2,22	7,28	-36,38	8,47
Alternativní metoda	-14,67	-2,07	3,45	-17,25	8,10
3D model	-14,32	-2,14	3,40	-17,00	8,45

Porovnání deformací nosných konstrukcí s kombinací pro CHAR – proměnné provozní

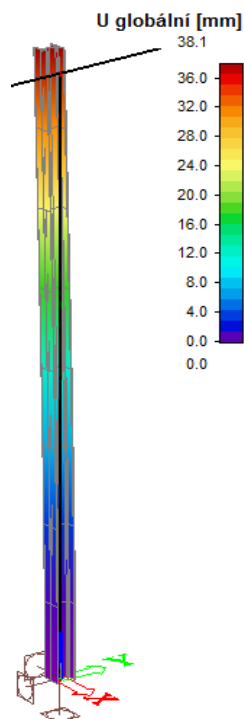
Zjednodušená metoda



Alternativní metoda

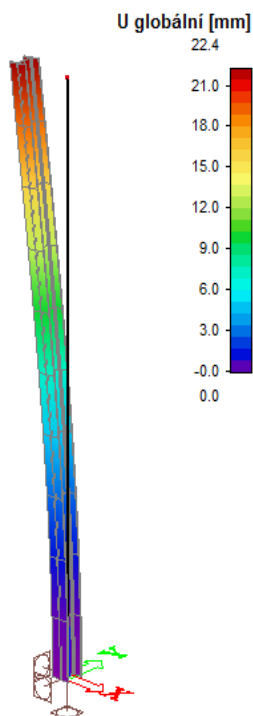


3D model

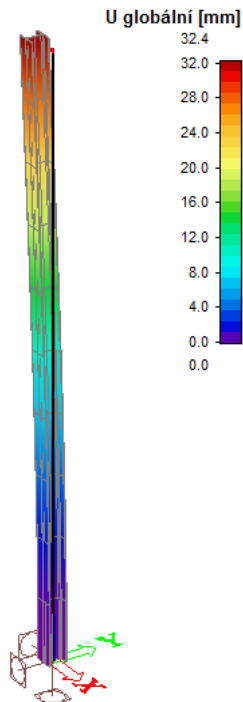


Porovnání deformací nosných konstrukcí s kombinací pro CHAR - proměnné porucha

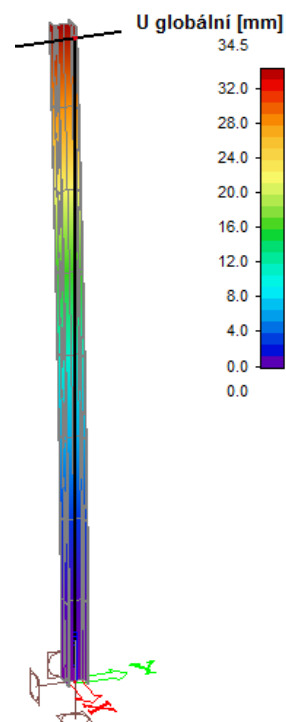
Zjednodušená metoda



Alternativní metoda



3D model



Shrnutí

Porovnáním vnitřních sil působících na konstrukce je patrná shoda mezi metodami se vzájemnou interakcí mezi nosnou konstrukcí a potrubím. Jejich vzájemná odchylka je v průměru okolo 2% a s hlediska deformací je to rozdíl okolo 6 %, vzhledem k měřítku a účelu těchto konstrukcí jsou takovéto rozdíly akceptovány. Díky prokazatelné shodě mezi těmito metodami, není potřebný další návrh a posouzení vycházející pro komplexní 3D model.

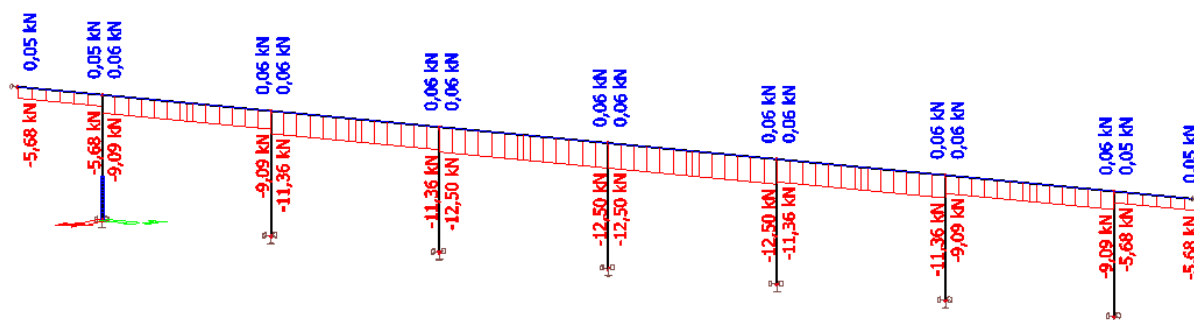
Touto shodou lze konstatovat, že při návrhu nosné konstrukce, alternativní metoda dostatečně postačí ke kvalitním a bezpečným výsledkům. Vzhledem ke zjednodušené metodě, alternativní metoda disponuje nižšími hodnotami vnitřních sil s rozdílem až o 50% (ohybové momenty), což má za následek možnost zvolení menších průřezů a rozměrů pro základové konstrukce.

4.6 Posouzení potrubí

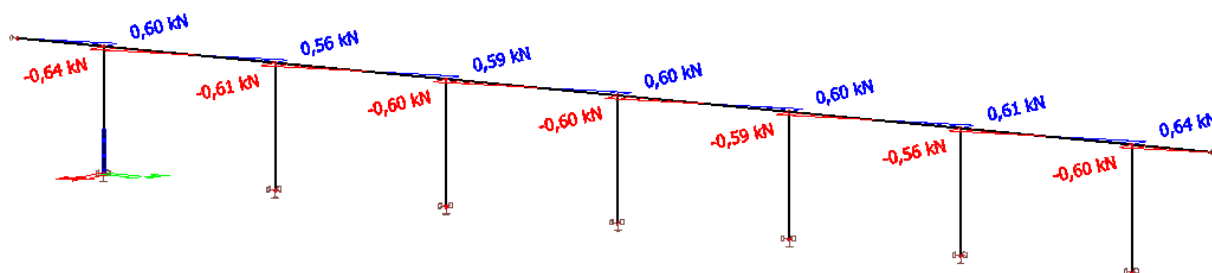
4.6.1 Vnitřní síly

Vnitřní síly přebrány a reakce přebrány s komplexního modelu

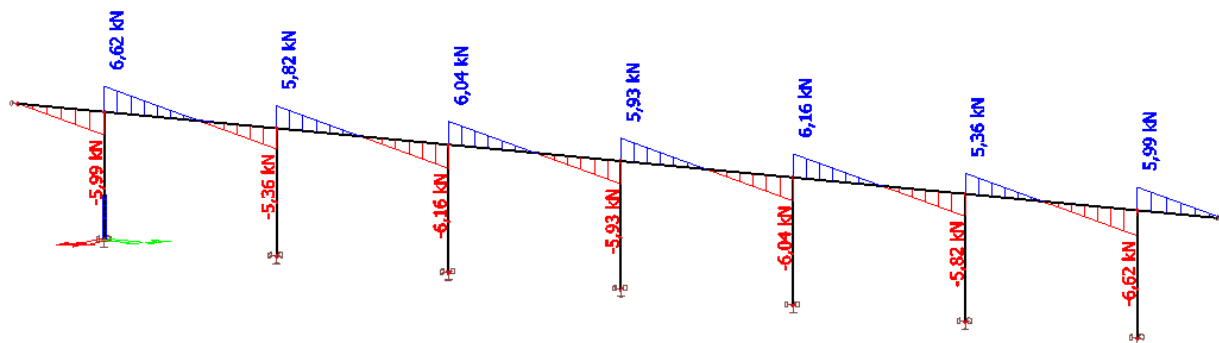
Normálové síly N



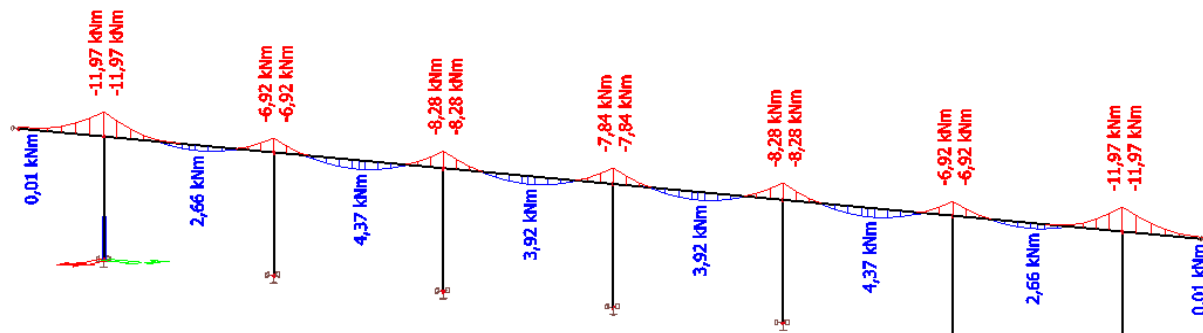
Posouvající síly V_y



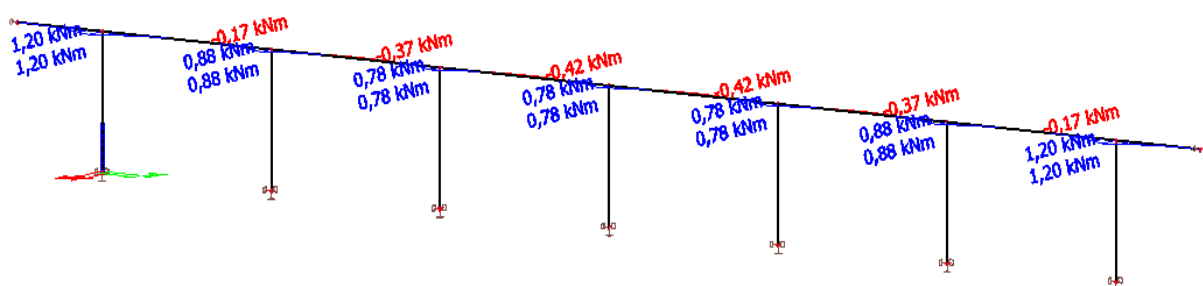
Posouvající síly V_z



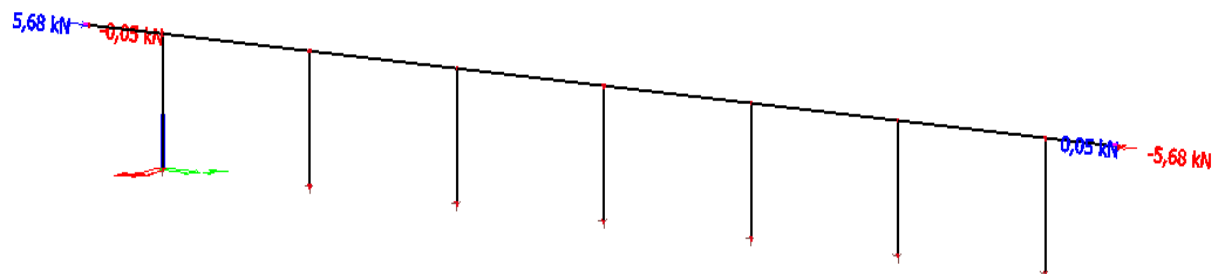
Ohybový moment M_y



Ohybový moment M_z



Silová reakce od odporu kompenzátoru



4.6.2 Posouzení z hlediska napjatosti

Dovolené namáhání materiálu:^[4]

mez kluzu $R_e = 235 \text{ MPa}$

mez pevnosti $R_m = 360 \text{ MPa}$

mez kluzu při
teplotě 100°C $R_{p0,2} = 198 \text{ MPa}$

$$f = \min \left\{ \frac{R_e}{1,5}; \frac{R_{p0,2}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4} \right\} = \min \left\{ \frac{235}{1,5}; \frac{198}{1,5}; \frac{360}{2,4} \right\} = 132 \text{ MPa}$$

Potrubí tepelných sítí je namáháno následnými způsoby^[2]:

1) vnitřním přetlakem způsobující tahové napětí:

tečné
$$\sigma_{tp} = \frac{pd_i}{2s} = \frac{1,5 \cdot 0,263}{2 \cdot 0,005} = 39,45 \text{ MPa}$$

osové (axiální)
$$\sigma_{ap} = \frac{pd_i^2}{4(d_i + s)s} = \frac{1,5 \cdot 0,263^2}{4(0,263 + 0,005)0,005} = 19,36 \text{ MPa}$$

tlakové (radiální) $\sigma_{rp} = \text{zanedbává se}$

2) namáhání vodorovné síly v podpoře od tepelné dilatace vznikají tahová nebo tlaková napětí:

největší namáhání je u krajních podpor

vodorovná síla
$$N_{au} = -9,09 - (-5,68) = -3,41 \text{ kN}$$

osové (axiální)
$$\sigma_{au} = \frac{N_{au}}{A_p} = \frac{-3,41}{4,2100e^{-3}} = -0,81 \text{ MPa}$$

3) namáhání vznikem tuhosti kompenzátoru:

vodorovná síla
$$N_{ak} = -5,68 \text{ kN}$$

osové (axiální)
$$\sigma_{ak} = \frac{N_{ak}}{A_p} = \frac{-5,68}{4,2100e^{-3}} 10^{-3} = -1,35 \text{ MPa}$$

4) namáhání ohybem

osové (axiální)
způsobuje v krajních
vláknech spodní a
horní části průřezu

$$\sigma_{aq} = \frac{|M_{y,Ed}|}{W_p} + \frac{|M_{z,Ed}|}{W_p} = \frac{|-11,97|}{3,5916e^{-4}} + \frac{|1,2|}{3,5916e^{-4}} = 36668,89 \text{ kPa} = 36,67 \text{ MPa}$$

5) smykové napětí ve vyšetřovaných místech jsou nulová, pokud nepůsobí torzní namáhání

Jelikož lze zanedbat radiální napětí od přetlaku, takže působí dvojosá napjatost, kterou lze řešit podle HMM hypotézy.

$$\sigma = \sqrt{\left(\sum \sigma_a\right)^2 + \left(\sum \sigma_t\right)^2 - \sum \sigma_a \sum \sigma_t + 3\tau^2} \leq f$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{ap} + \sigma_{au} + \sigma_{ak} + \sigma_{aq})^2 + (\sigma_{tp})^2 - (\sigma_{ap} + \sigma_{au} + \sigma_{ak} + \sigma_{aq})(\sigma_{tp})} \leq f$$

$$\sigma = \sqrt{(19,36 - 0,81 - 1,35 + 36,67)^2 + (39,45)^2 - (19,36 - 0,81 - 1,35 + 36,67)(39,45)} \leq 132$$

$$\sigma = 48,31 \text{ MPa} \leq 132 \text{ MPa} \text{ VYHOVUJE}$$

4.6.3 Ztráta potrubní stěny nad podporou

Potrubí namáháno silou od reakce a ohybovým momentem s největší koncentrací v krajních podporách^[3]

šířka objímky $b = 120 \text{ mm}$

koeficient stability
potrubní stěny $k = \frac{b}{\sqrt{d_i s}} = \frac{120}{\sqrt{263.5}} = 3,309$

koeficient stability
potrubní stěny I $k_1 = 1,309$

kritická síla $F_{cr} = k_1 f s \sqrt{d_i s} = 1,309 \cdot 132 \text{ e}^3 \cdot 0,005 \sqrt{0,263 \cdot 0,005}$
 $= 31,33 \text{ kN}$

kritický moment $M_{cr} = 1,213 f l s^2 = 1,231 \cdot 132 \text{ e}^3 \cdot 0,005^2$
 $= 32,50 \text{ kNm}$

návrhová lokální síla $F = 12,21 \text{ kN}$

návrhový moment $M = 11,97 \text{ kNm}$

podmínka $\frac{M}{M_{cr}} + \frac{F}{F_{cr}} = \frac{11,97}{32,50} + \frac{12,21}{31,33} = 0,76 \leq 1 \text{ VYHOVUJE}$

5 Ekonomické a technické porovnání obou variant

Dosažením výsledků jednotlivých metod je jasně dokázáno, že z hlediska porovnání běžné zjednodušené metody a již prokázané alternativní metody, nastává rozdílnost kvantitativního použití materiálu pro realizaci nosných konstrukcí potrubních systému. Množství použitého materiálu se bez pochyby odrazí na ekonomické stránce věci projektu. Tento kladný fakt přispívá k efektivnosti alternativní metody, nejen že s časového hlediska, ale zároveň prvky konstrukce lze dimenzovat s přesným využitím a nemusí vznikat obava značného poddimenzování nebo předimenzování. Na základě použitých prvků oceli a množství betonu lze porovnat vzájemné rozdíly.

Tabulka 5.1: Tabulka ocelových profilů z návrhu zjednodušené metody

Prvek	Profil	Hmotnost [kg.m ⁻¹]	Počet kusů	Délka [m/ks]	Celková hmotnost [kg]
sloup	HEA 180	35,5	7	5	1242,5
		hmotnost [kg.m ⁻³]		objem [m ³ /ks]	
patní plech	350x650x8	7850	7	0,00182	100,01
úložný plech	180x370x10	7850	7	0,00067	36,60
		hmotnost [kg/ks]			
kotvicí šrouby	M24/30	0,72	28		20,27
rezerva a svary	5%Σ				70,00
Celkem					1469,38

Tabulka 5.2: Výpis betonu z návrhu zjednodušené metody

Část	Rozměry [m]	Objem [m ³]	Počet [ks]	Celkový objem [m ³]
základová patka	1,1x1,65x0,9	1,63	7	11,43

Tabulka 5.3: Tabulka ocelových profilů z návrhu alternativní metody

Prvek	Profil	Hmotnost [kg.m ⁻¹]	Počet kusů	Délka [m/ks]	Celková hmotnost [kg]
sloup	HEA 160	30,4	7	5	1064
		hmotnost [kg.m ⁻³]		objem [m ³ /ks]	
patní plech	250x500x8	7850	7	0,00182	54,95
úložný plech	160x370x10	7850	7	0,00059	32,53
		hmotnost [kg/ks]			
kotvicí šrouby	M16/25	0,24	28		6,72
rezerva a svary	5%Σ				57,91
Celkem					1216,11

Tabulka 5.4: Výpis betonu z návrhu alternativní metody

Část	Rozměry [m]	Objem [m ³]	Počet [ks]	Celkový objem [m ³]
základová patka	0,85x1,25x0,7	0,74	7	5,21

Tabulka 5.5: Rozdíl použité oceli mezi jednotlivými metoda

	Hmotnost [kg]	Rozdíl [kg]	[%]
Zjednodušená metoda	1469,38	253,27	0,17
Alternativní metoda	1216,11		

Tabulka 5.6: Rozdíl použité oceli mezi jednotlivými metoda

	Objem [m ³]	Rozdíl [m ³]	[%]
Zjednodušená metoda	11,43	6,22	54
Alternativní metoda	5,21		

Dosažené rozdíly projevující se zejména u základových konstrukcí jsou velice příznivým zjištěním z pohledu spotřeby materiálu. Ukázalo se, že při návrhu nosné konstrukce alternativní metodou lze ušetřit okolo 54% betonu oproti běžné zjednodušené metodě. Nadále prvky tvořící ocelovou konstrukci také dosáhly úspor. Z hlediska hmotnosti oceli se spotřeba zmenšila o 17 %. Tento rozdíl není oproti spotřebě betonu natolik markantní, ale určitý význam také s sebou nese. Diplomová práce se zabývá pouze jedním dilatačním úsekem, pokud je navrhován horkovod, jedná se o několik desítek těchto úseků ne-li vícero, avšak ne všechny jsou tvořeny nad zemí, ale i tak může jít o několika kilometrové vzdálenosti. Na velkých vzdálenostech má každá úspora nosného prvku význam.

Prakticky nastává otázka, jestli alternativní metoda může být použita na všechny druhy rozměrů potrubí nebo se omezuje jen na jednotlivé části velikostí. Alternativní metoda se odvíjí na základě podmínky (3.11), definující vztah mezi třecí silou a dilatací potrubí. Hlavním faktorem třecí síly je hmotnost potrubí. Potrubí větších průměrů snáze zapadne do procesu návrhu pomocí interakce než potrubí menšího průměru. Kombinace menších trubek přepravujících parní médium, pravděpodobně není schopné korespondovat s alternativní metodou. Čili takto působící potrubí, nedokáže vyvolat třecí sílu na základě malé hmotnosti.

Druhým faktorem se pro překročení třecí síly nastává příliš velká teplota teplotnosného média. Vodorovná síla od dilatace závisí pouze na vlivu teploty a délkovém rozměru potrubí. Systémy přenášející médium o vysokých teplotách disponují vzestupem dilatace potrubí. Takovými to teplotám většinou čelí parovodní systémy.

Řešením návrhu nosné konstrukce potrubních systému pomocí alternativní metody se může stát určitým přínosem v oblasti problematiky větších potrubních systému, přepravujících teplotnosné médium větší hustoty za běžných teplot. Příležitostně uplatnění se nejspíš nalézá u problematiky teplovodů a horkovodů.

6 Závěrečná diskuze

Schopnost projektanta navrhnout konstrukci spolehlivě a zároveň efektivně, je někdy z hlediska náročnosti postupu výpočtu a časového omezení těžko dosažitelný kompromis. Z tohoto důvodu se osoby podílející na návrhu přiklánějí k jednoduchým, ale zároveň méně efektivním řešením.

Snaha diplomové práce je zabývat se právě tímto kompromisem a stanovit podmínky řešení takovéto metody. Práce pojednává o schopnosti řešení jednotlivých metod při návrhu nosné konstrukce horkovodu. Návrh této konstrukce je svázán s problematikou teplotní dilatace potrubí. Z hlediska výběru řešení variant, práce porovná dvě řešení.

První řešením je snaha se dilataci vyhnout způsobem, nevzdorovat těmto silám. Jedná se o běžně používanou metodu návrhu. Z hlediska účinnosti nespadá do příliš efektivní kategorie. Návrh je zcela bezpečný, ale nosná konstrukce se stává méně hospodárnou po ekonomické stránce věci.

Druhé řešení vyplívá z opačného principu a to se spolupůsobením teplotní dilatace. Varianta ukládá podmínky řešitelnosti, z čehož plyne, že není schopna řešit v celém rozsahu problematiky potrubí, ale pro většinu spektra je použitelná. Jedná se o alternativní metodu, která se snaží zahrnout problematiku komplexního rozsahu a zároveň si ponechat jednoduchost řešení. Výsledky práce poukazují na efektivnost této metody především z ekonomického hlediska.

Srovnáním výsledků pro návrh konstrukce alternativní metody a výpočtem komplexního modelu se tyto hodnoty přijatelně shodují. Lze tedy konstatovat, že alternativní metoda inklinuje k reálnému chování konstrukce a projektant se může při návrhu o tyto hodnoty bezpečně opřít.

Práce dokazuje o smysluplnosti interakce nosné ocelové konstrukce s potrubím. Ukazuje na reálném příkladu výhody této metody. S osobního hlediska autora práce, se jedná o využitelný námět pro navrhování nosných konstrukcí potrubí v budoucnosti.

Seznam literatury a používaných zdrojů

- [1] VLACH, J. aj. *Zásobování teplem a teplotností*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989. 543 s.
- [2] CIKHART, J. *Soustavy centralizovaného zásobování teplem*. Praha: SNTL, 1989, 555 s. ISBN 80-030-0021-1.
- [3] PEKAŘ, V. *E-kniha o pevnostních výpočtech potrubí*. Vysoké Mýto, 2016, iPotrubí.cz
- [4] ČSN EN 13480-3 Kovová průmyslová potrubí - Část 3: Konstrukce a výpočet
- [5] ŠMÍŘÁK, S. *Pružnost a plasticita I: pro distanční studium*. 2. vyd. Brno: CERM, 1999. 210 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1151-1.
- [6] Navrhování ocelových konstrukcí –Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [7] *www.iPotrubí.cz* [online]. Vysoké Mýto: Václav Pekař, 2014- [cit. 2016-10-25]. Dostupné z: <http://www.ipotrubí.cz>.
- [8] *Isoplus* [online]. 10. vyd. 2006 [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: <http://www.isopluseop.cz/dokumentace/projektovani.pdf>
- [9] Rozvody teplotní souprav a jejich materiály [online]. 2013 [cit. 2016-10-20] Dostupné z: <http://www.snizujeme.cz/clanky/rozvody-teplovodnich-soustav-a-materialy/>
- [10] Vlastnosti rozvodu tepla [online]. Pavel Sláma, 2010 - [cit. 2016-10-25]. Dostupné z: <http://www.systherm.com/upload/file/vlastnosti-rozvodu-tepla-z-predizolovanychtrubek.pdf>
- [11] Ústav techniky prostředí –Tepelné sítě, ČVUT [online]. Tomáš Matuška, 2015- [cit. 2016-10-25]. Dostupné z: users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/.../ZZT-P3-hydraulika.pdf
- [12] Horkovod. 2010. EOP: elektrárny Opatovice [online]. [cit. 2016-10-2]. Dostupné z: http://www.chlumecko.cz/eop/ostatni/exk_horkovod.php
- [14] Technické řešení pro statiky.2016. Kotvy do betonu [online]. [cit. 2016-11-25]. Dostupné z: https://www.hilti.cz/technicke-poradenstvi/technicka-reseni/solution-engineer#/stage2/cls_software_services_foldout

Seznam obrázků

Obr. 2.1: Potrubí uložené kanálově: a) příklopový kanál b) žlabový kanál ^[1]	9
Obr. 2.2: Bezkanálová konstrukce s potrubím zalitým nebo zasypaným ^[1]	9
Obr. 2.3: Pozemní tepelné sítě: a) vedené v zářezu b) vedené nad zemí ^[2]	10
Obr. 2.4: Pozemní tepelné sítě uložení nad úrovní terénu: a) na monolitické patce b) na monolitickém sloupku ^[1]	10
Obr. 2.5: Nadzemní vedení tepelných sítí na vysokých sloupech: a) plnostěnný sloup, b) příhradový sloup ^[1]	11
Obr. 2.6: Uložení potrubí na plnostěnných sloupech, horkovod Ostrava – Elektrárna Třebovice.....	11
Obr. 2.7: Uložení potrubí na příhradových sloupech, parovod Ostrava - Elektrárna Třebovice	11
Obr. 2.8: Dvoutrubkový systém: a) parovod Ostrava - Elektrárna Třebovice b) horkovod Ostrava – Vítkovice Steel.....	12
Obr. 2.9: Třítrubkový systém, Elektrárna Opatovice ^[12]	13
Obr. 2.10: Směr orientace os	14
Obr. 2.11: Uložení volně: a) válečková podpěra b) bodová podpěra, - Ostrava – Vítkovice ..	15
Obr. 2.12: Posuvná podpora se směrovou zarážkou umožňující pohyb v x- : a) válečková podpora b) třecí podpora, - Ostrava – Vítkovice	15
Obr. 2.13: Posuvná podpora: a) s osovým vedením b) přivařovací	16
Obr. 2.14: Pevná podpora: Ostrava - Elektrárna Třebovice	16
Obr. 2.15: Schéma uložení potrubí ^[8]	17
Obr. 3.1: Schématické rozložení osových sil	21
Obr. 3.2: Znázornění působení vodorovné síly s vlivem prodloužení od potrubí.....	22
Obr. 3.3: Statické schéma nosné konstrukce namáhané silou od prokluzu.....	23
Obr. 3.4: Závislost výšky nosné konstrukce na ohybovém momentu v patě konstrukce	23
Obr. 3.5: Statické schéma nosné konstrukce se spolupůsobícím potrubím	24
Obr. 3.6: Grafické znázornění deformační podmínky.....	24
Obr. 3.7: Statické schéma namáhání nosné konstrukce	25
Obr. 3.8: Závislost výšky nosné konstrukce na ohybovém momentu v patě konstrukce	26
Obr. 3.9: Závislost výšky nosné konstrukce na ohybovém momentu v patě konstrukce o různých tuhostech.....	27

Obr. 3.10: Závislost výšky nosné konstrukce na ohybovém momentu v patě konstrukce o různých tuhostech a vlivem třecí síly	29
Obr. 3.11: Závislosti výšky nosné konstrukce na ohybovém momentu v patě konstrukce o různých tuhostech.....	30
Obr. 3.12: Vykreslení závislostí štíhlostí na vodorovných reakcích v patě nosné konstrukce	35
Obr. 4.1: Schéma vazeb podpor	39
Obr. 4.2: Popis nosné konstrukcí	39
Obr. 4.3: Schéma zatížení sněhem	43
Obr. 4.4 Statické schéma posuzované nosné konstrukce jednotrubkového horkovodu, běžný způsob.....	44
Obr. 4.5: Statické schéma nosné konstrukce, vliv spolupůsobení interakce	57
Obr. 4.6: Rozměry dilatačních ramen podle výrobce ^[Ipotrubí]	71
Obr. 4.7: Konstrukce kompenzátoru zatížena jednotkovou silou a s příslušnou deformací	72
Obr. 4.8: Statické schéma potrubního systému s předpokladem interakce nosné konstrukce s potrubím	73
Obr. 4.9: Model potrubního systému s předpokladem interakce nosné konstrukce s potrubím	73

Seznam tabulek

Tabulka 4.1: Hodnoty potrubí zadané výrobcem ^[8]	38
Tabulka 4.2: Navrhnuté průřezy nosné konstrukce jednotrubkového horkovodu, běžný způsob	44
Tabulka 4.3: Charakteristiky zatěžovacích stavů	46
Tabulka 4.4: Charakteristika skupin zatížení	47
Tabulka 4.5: Kombinace zatěžovacích stavů	47
Tabulka 4.6: Navržené průřezy nosné konstrukce, vzájemná interakce	57
Tabulka 4.7: Charakteristiky zatěžovacích stavů, vzájemná interakce	60
Tabulka 4.8: Charakteristiky skupin zatížení, vzájemná interakce	61
Tabulka 4.9: Kombinace zatěžovacích stavů, vzájemná interakce	61
Tabulka 4.10: Navržené průřezy nosné konstrukce, vzájemná interakce	73
Tabulka 4.11: Charakteristiky zatěžovacích stavů, 3D model	75
Tabulka 4.12: Charakteristika skupin zatížení, 3D model	75
Tabulka 4.13: Charakteristika kombinací zatěžovacích stavů, 3D model	76
Tabulka 4.14: Srovnání hodnot vnitřních sil působících na nosné konstrukce.....	78
Tabulka 5.1: Tabulka ocelových profilů z návrhu zjednodušené metody.....	84
Tabulka 5.2: Výpis betonu z návrhu zjednodušené metody.....	84
Tabulka 5.3: Tabulka ocelových profilů z návrhu alternativní metody	85
Tabulka 5.4: Výpis betonu z návrhu alternativní metody	85
Tabulka 5.5: Rozdíl použité oceli mezi jednotlivými metoda.....	85
Tabulka 5.5: Rozdíl použité oceli mezi jednotlivými metoda.....	85

Seznam příloh

- 1) Výkres návrhu zjednodušené metody
- 2) Výkres návrhu alternativní metody